Hessler, Ferdinand,

Lehrbuch der Physik nach den Bedürfnissen der Technik, der Künste und Gewerbe, und nach dem neuesten Stande der Wissenschaft, zum Gebrauche beim Unterrichte in technischen Schulen, so wie beim Selbstunterrichte

Wien 1854

Druck von J. P. Sollinger's Witwe in Wien.

Vorwort
zur ersten Auflage.

Das vorliegende Buch ist, wie schon sein Titel andeutet, vorzugsweise für Techniker und Industrielle überhaupt bestimmt, und soll nicht blos bei den physikalischen Vorträgen an höheren technischen und Industrie-Schulen als Leitfaden dienen können, sondern zugleich auch den Praktikern, welche eine solche Schule zu besuchen nicht Gelegenheit haben, wohl aber mit den Hauptlehren der Elementar-Mathematik vertraut sind, die Erwerbung jener physikalischen Kenntnisse auf dem Wege des Selbststudiums ermöglichen, welche ihnen in ihren besonderen Sphären unentbehrlich oder mindestens nützlich sind oder überhaupt die Grundfesten jedes rationellen Betriebes eines technischen oder industriellen Unternehmens bilden und zur Technik und Industrie in irgend einer näheren Beziehung stehen. Daß die Erreichung dieses Doppelzweckes eine eben nicht leichte Aufgabe sei und bei dem stets im Auge zu behaltenden Bedürfnisse der Technik und Industrie eine eigenthümliche Auswahl, Anordnung und Darstellung der vorzutragenden Materien fordere, wird gewiß jeder Sachkundige zugestehen. Der Verfasser ist weit entfernt sich einzubilden, daß er diese schwierige Aufgabe völlig gelöst und die besagte Auswahl, Anordnung und Darstellung in

Maße der eben bezeichneten Verbesserung und Vermehrung des Buches auch dessen Verbreitung und Benützung noch zunehme, ist der innige Wunsch

des Verfassers.

Wien, im August 1854.

Alphabetisches Register.

(Die Zahlen bedeuten die Seiten.)

Lehrbuch

der

Naturlehre.

Einleitung.

1. Naturlehre im weitesten Sinne. Die Naturlehre ist, nach der Bedeutung des Wortes (Lehre von der Natur), der systematische Unterricht über die Sinnen- oder Körperwelt, über die Eigenschaften und Veränderungen der Körper und über die Gesetze und Ursachen dieser Eigenschaften und Veränderungen.

Körper heißt alles, was einen begrenzten Raum ausfüllt. Bei jedem Körper ist das, was den Raum ausfüllt, d. i. die Substanz oder Materie, das innere Wesen des Körpers, von dem Raume, welchen die Materie ausfüllt, und von der Art, wie sie dies thut, d. i. vom äußern Zustande des Körpers zu unterscheiden. Die Eigenschaften und Veränderungen, welche den Körpern bloß in Bezug auf ihre Substanz oder Materie (ihre materielle Beschaffenheit) zukommen, heißen materielle, und die Eigenschaften und Veränderungen, welche bloß den äußern Zustand der Körper betreffen, werden räumliche Eigenschaften und Veränderungen genannt. Jede Eigenschaft oder Veränderung eines Körpers ist, in wiefern sie durch die Sinne wahrgenommen wird, d. h. erscheint, eine Erscheinung (Phänomen), und man faßt deswegen die räumlichen Eigenschaften und Veränderungen unter dem Ausdrucke räumliche Erscheinungen, die materiellen Eigenschaften und Veränderungen hingegen unter der Benennung materielle Erscheinungen zusammen.

Die Kugelgestalt der Wassertropfen, die Zusammendrückbarkeit der Körper, ihre Ausdehnbarkeit durch die Wärme, gehören zu den räumlichen Eigenschaften. Das Zermalmen eines Stückes Kreide im Mörser, das Aushämmern eines Stückes Kupfers zu einer Platte, sind räumliche Veränderungen. Der eigenthümliche Geschmack des Kochsalzes, die Eigenschaft des Eisens, an der Luft zu rosten, sind materielle Eigenschaften, und die Umwandlung der Kreide in Gyps mittelst Vitriolöl und des Kupfers in Messing durch Zusammenschmelzen mit Zink sind materielle Veränderungen.

2. Naturlehre im engeren Sinne. Die Körper unterscheiden sich in Bezug auf die Erscheinungen, die sie zeigen, wesentlich von einander, je nachdem sie organisch oder unorganisch, lebend oder leblos sind. Daher wird auch die gesammte Körperwelt in drei Hauptreiche, das Thierreich, das Pflanzenreich und das Mineralreich abgetheilt.

Die Naturlehre hat, der Bedeutung des Wortes nach, also über alle materiellen und räumlichen Erscheinungen, welche sämmtliche Thier-, Pflanzen- und Mineralkörper in allen ihren Zuständen und Beziehungen darbieten, und über die Gesetze und Ursachen aller dieser Erscheinungen zu handeln; kann aber in diesem weiten Sinne des Wortes (in welchem sie gewöhnlicher Naturwissenschaft genannt wird), da ein gründlicheres Studium derselben wegen der unendlich großen Zahl und Mannigfaltigkeit der Körper und der Erscheinungen, die sie umfaßt, die Zeit mehrerer Menschenleben erfordert, nicht den Gegenstand des

vorliegenden Buches ausmachen. Diesen bildet vielmehr das, was man Naturlehre im engeren Sinne des Wortes oder Physik nennt, d. i. eine Wissenschaft, welche zwar ebenfalls von allen Körpern (den organischen und unorganischen, den Thier-, Pflanzen- und Mineralkörpern) handelt, an denselben aber nur die räumlichen Erscheinungen, deren Gesetze und Ursachen betrachtet, und gar nicht darum fragt, ob ein Körper organisch oder unorganisch, lebend oder leblos sei und was er für besondere, von diesen Zuständen abhängige Erscheinungen zeige, sondern sich um ihn nur in sofern bekümmert, als er etwas einen begrenzten Raum Erfüllendes ist, und Erscheinungen darbietet, welche auf diesen Raum und die Art seiner Ausfüllung sich beziehen.

Die Betrachtung der übrigen Erscheinungen, welche die Körper bloß als organische oder lebende Wesen, oder in Bezug auf ihre Materie u. s. w. zeigen, so wie die Betrachtung der Gesetze und Ursachen dieser Erscheinungen, überläßt die Physik andern besonderen Wissenschaften, welche mit ihr zusammen die Naturlehre im weiteren Sinne (Naturwissenschaft) ausmachen. Namentlich gehören alle materiellen Erscheinungen, deren Gesetze und Ursachen einer für sich bestehenden, sehr wichtigen und ausgedehnten Wissenschaft an, welche den Namen Chemie führt. Doch kann die Physik die materiellen (chemischen) Erscheinungen aus ihrem Bereiche nicht ganz ausschließen, da die räumlichen (physikalischen) Erscheinungen mit den materiellen häufig in einem so innigen Zusammenhange stehen, daß sie, von einander getrennt, sich nicht einmal wahrnehmen, viel weniger gehörig begreifen lassen. Der Physik ist in der That die Chemie, der Chemie aber in gleichem Grade die Physik unentbehrlich. Deswegen wird man in dem vorliegenden Lehrbuche der Physik auch manches eigentlich dem Gebiete der Chemie Angehörige finden; jedoch gerade nur so viel, als zu besserer Verständlichkeit des eigentlichen physikalischen Inhaltes unumgänglich erforderlich ist.

3. Beobachten und Experimentiren. Zur Kenntniß der physikalischen Erscheinungen gelangt man: entweder durch Beobachten, d. i. durch aufmerksames sinnliches Wahrnehmen der Zustände und Veränderungen, in welche die Körper ohne unser Zuthun, bloß durch die Selbstthätigkeit der Natur gebracht werden; oder durch Versuche-Machen (Experimentiren), d. i. indem wir an den Körpern absichtlich Zustände und Veränderungen hervorrufen, welche sie ohne unser Zuthun entweder nie oder zu einer andern Zeit, oder aber in einem andern Grade angenommen hätten.

Indem man zusieht, wie zur Winterszeit das Wasser im Freien gefriert, beobachtet man; wenn man aber im Sommer oder in einem geheizten Zimmer das Wasser dadurch in Eis verwandelt, daß man dasselbe in einen abgeschlossenen Raum bringt und aus diesem die Luft und die sich bildenden Wasserdünste schnell und möglichst vollkommen entfernt, so macht man einen Versuch oder experimentirt.

Zu entsprechender Anstellung physikalischer Beobachtungen und Experimente gehören in den meisten Fällen eigene (physikalische) Instrumente, ferner von Seite des Beobachters oder des Experimentators ein besonderer Scharfblick und eine eigene Geschicklichkeit in Auffassung, Deutung und Abänderung der Beobachtungen und Versuche, eine genaue Kenntniß der Einrichtung, des Zweckes, der Grenzen der Richtigkeit (Verläßlichkeit) der Instrumente und endlich eine hinlängliche Gewandtheit in Handhabung derselben.

4. Erklärung. Hypothese. Die Ursache einer physikalischen Erscheinung angeben, heißt diese Erscheinung erklären. Läßt sich Alles, was zur Erklärung einer Erscheinung angeführt wird, in der Wesenheit auf dem Erfahrungswege nachweisen, d. h. durch die Sinne wahrnehmen, oder ist es von der Art, daß wir es für wahr halten müssen, wenn wir nicht an der Nothwendigkeit der Denkgesetze, an der Untrüglichkeit der Operationen unseres Verstandes zweifeln wollen, so ist die gegebene Erklärung eine wahre.

Leider ist man so oft außer Stande, eine solche wahre, unbestreitbare Erklärung der physikalischen Erscheinungen zu geben, und es bleibt, um dem uns angebornen Drange nach Begründung unserer Wahrnehmungen wenigstens einigermaßen Genüge zu leisten, nichts anderes übrig, als an die Stelle einer wahren Erklärung eine Erklärung zu setzen, deren wesentlicher Inhalt keineswegs auf dem Erfahrungswege nachgewiesen werden kann, auch nicht als etwas durch die untrüglichen Denkgesetze und Verstandes-Operationen Gebotenes erscheint, also noch nicht gewiß, die aber deswegen doch höchst wahrscheinlich ist, weil sie mit den Denkgesetzen nicht im Widerspruche steht und eine große Analogie (Uebereinstimmung) mit wirklichen Ergebnissen der Erfahrung für sich hat. Eine solche wahrscheinliche, einstweilen nur als wahr angenommene oder vorausgesetzte Erklärung heißt eine hypothetische Erklärung oder eine Hypothese.

Die Erklärung des Schallens einer in der Luft aufgehängten und z. B. mit einem Hammer angeschlagenen Glocke, indem man sagt: die kleinsten Körpertheilchen der Glocke werden durch den Schlag des Hammers in eine zitternde (vibrirende) Bewegung versetzt, die Luft, welche die Glocke umgibt, pflanzt diese Bewegung zu unserem Ohre fort und bewirkt so abwechselnd nacheinanderfolgende Eindrücke ungleicher Stärke auf dasselbe, welche die Empfindung des Hörens hervorrufen, ist eine wahre Erklärung, denn eine leise Berührung der schallenden Glocke mit dem Finger überzeugt uns, daß an der Glocke die vorausgesetzte vibrirende Bewegung wirklich vorhanden sei; die Fortpflanzung dieser vibrirenden Bewegung durch die Luft und die angenommene Einwirkung dieser letzteren auf das Ohr folgen nothwendig aus der auf dem Erfahrungswege nachweisbaren Elasticität der Luft, und daß diese so wirklich den Vermittler zwischen der vibrirenden Glocke und dem Ohre macht, beweist endlich noch der Umstand, daß man die Glocke, sobald die Luft um sie herum entfernt wird, unter den übrigen vorhin angegebenen Umständen nicht mehr schallen hört.

Wenn man aber das Leuchten der Körper, z. B. der Flamme einer brennenden Kerze, aus einer vibrirenden Bewegung der kleinsten Theilchen der leuchtenden Körper und aus der Fortpflanzung dieser Bewegung zu unserem Auge vermittelst einer das ganze Weltall erfüllenden, unendlich feinen elastischen Flüssigkeit, Lichtäther genannt, erklärt, so ist diese Erklärung eine hypothetische; denn weder die angenommene vibrirende Bewegung der kleinsten Theilchen leuchtender Körper noch der Lichtäther lassen sich durch die Sinne als wirklich vorhanden nachweisen. Ihre Annahme wird auch nicht durch die Denkgesetze gefordert; sie steht aber mit diesen Gesetzen und mit den Ergebnissen der Erfahrung nicht im Widerspruche, und für sie spricht die große Analogie, welche so die Erklärung des Leuchtens der Körper mit der Erklärung des Schallens hat.

5. Werth der Hypothesen und Bedingungen dieses Werthes.

Die Frage, ob es in Fällen, wo man von irgend einer physikalischen Erscheinung keine wahre Erklärung zu geben vermag, nicht besser sei, sich lieber aller Erklärung zu enthalten, als zu einer bloß wahrscheinlichen, hypothetischen seine Zuflucht zu nehmen, muß mit nein beantwortet werden. Denn um eine Erscheinung auch nur hypothetisch erklären zu können, muß man dieselbe bis in's kleinste Detail studiren, sie mit den andern bekannten Erscheinungen genau vergleichen, ihren Zusammenhang mit diesen sorgfältig erforschen, sie endlich nicht selten durch Versuche auf mannigfaltige Weise modificiren und abändern. Dadurch wird in das Heer der mannigfaltigen Erscheinungen, die sonst weniger gründlich erforscht und isolirt stehen geblieben wären, jenes Licht, jene Verknüpfung durch das Band der Ursache und Wirkung und jene Zurückführung des Mannigfaltigen auf Einheit gebracht, welche allein dem menschlichen Geiste das Ueberblicken, Begreifen und zu Nutzen Machen dieser Erscheinungen ermöglicht, und schon deswegen ist es in allen Fällen, wo die Auffindung einer wahren Erklärung nicht gelingt, nothwendig, mindestens sehr nützlich, eine hypothetische Erklärung aufzustellen. Wenn man überdies erwägt, daß eine so genaue Erforschung, Zergliederung und Vergleichung von Wahrheiten, wie sie unerläßlich ist, um in das Chaos der Erscheinungen in der Körperwelt Licht, Harmonie und Zusammenhang zu bringen, nicht selten zur Auffindung neuer fruchtbringender Wahrheiten und

Ergebnisse führt, die sonst vielleicht für immer verborgen geblieben wären, und daß durch Aufstellung einer Hypothese die wahre Erklärung häufig vorbereitet wird; so stellt sich das Bedürfniß und der Nutzen der Hypothesen als Stellvertreter wahrer Erklärungen ganz außer Zweifel.

So brachte die Annahme (Hypothese) einer mit gewissen Eigenschaften ausgerüsteten (der sogenannten elektrischen) Flüssigkeit die ganz ungleichartig scheinenden Phänomene des Gewitters, des Hagels, des Verbrennens und Erglühens der Körper, der Stellung der Magnetnadel von Süden nach Norden, der Verschmelzung der ungleichartigsten Substanzen zu einem neuen ganz gleichartigen Körper in einen wunderbaren Zusammenhang und inneren Einklang. Ohne hypothetischer Ansicht über die Ursache des Verbrennens der Körper wären wir vielleicht nie in den Besitz so vieler und heilbringender Mittel gelangt, einerseits die verderbliche Wuth des Feuers zu hemmen, andererseits dessen Kraft zu den mannigfaltigsten Zwecken des technischen Lebens in dem uns jetzt möglichen Grade zu benützen.

Soll jedoch eine Hypothese den eben ausgesprochenen Werth haben, so muß sie die betreffenden Erscheinungen leicht, einfach, ohne große Umschweife und ohne Hilfshypothesen, nicht bloß oberflächlich und im Allgemeinen, sondern im Detail erklären, darf zu keinen Folgerungen führen, die den Ergebnissen der Erfahrung oder bereits als wahr und nothwendig erwiesenen anderen Sätzen widersprechen, und muß, der Rechnung unterworfen, Resultate liefern, die mit den durch die Erfahrung gegebenen im Einklange oder wenigstens nicht im Widerspruche stehen.

6. Kräfte. Im Grunde führt beinahe jeder weit genug fortgesetzte Versuch, eine Erscheinung zu erklären, zuletzt zu einer Hypothese: denn hat man die Ursache irgend einer Erscheinung in einer andern Erscheinung gefunden, fragt dann wieder um die Ursache dieser zweiten Erscheinung, und geht so weiter immer von dem, eine Erscheinung begründenden Phänomen auf die Ursache wieder dieses Phänomens über; so stößt man, da die Reihe der als Ursachen und Wirkungen verknüpften Erscheinungen einmal ein Ende nehmen muß, zuletzt auf eine Erscheinung, deren Ursache nicht mehr in etwas sinnlich Wahrnehmbaren gefunden werden kann, sondern als außer dem Bereiche der Sinne gelegen, d. i. als außersinnlich gedacht werden muß, und in den meisten Fällen eine bloße Hypothese ist. Man nennt so eine außersinnliche, also eigentlich unbekannte Ursache Kraft, und ist genöthigt, so viele Kräfte anzunehmen, als es verschiedene Reihen zusammengehöriger, als Wirkungen und Ursachen verbundener Erscheinungen gibt. (So gibt es eine Schwerkraft, Cohäsionskraft, Adhäsionskraft, magnetische Kraft u. s. w.) Da die Wirkungen aller bisher den physikalischen Erscheinungen zu Grunde gelegten Kräfte aber zuletzt darauf hinausgehen, die Körper oder ihre Theile einander zu nähern oder von einander zu entfernen, so betrachtet man eine Anziehungs- und eine Abstoßungskraft als Grundkräfte der Natur, und alle andern Kräfte als davon abgeleitete.

Zur Erläuterung mag Folgendes dienen. Ein auf der Hand liegender Stein übt auf dieselbe einen Druck aus (Erscheinung), weil er zu Boden zu fallen sucht (Ursache, die selbst zur Erscheinung wird, wenn man die Hand unter dem Steine wegzieht); der Stein fällt aber zu Boden, weil zwischen ihm und der Erde eine Anziehung Statt findet (Anziehungskraft ist demnach der außersinnliche Grund des besagten Druckes).

7. Naturgesetze. Die Kräfte, diese in der Natur selbst gelegenen Ursachen der Erscheinungen, bedingen nicht nur das Stattfinden dieser letzteren, sondern schreiben denselben zugleich die Art und Weise dieses Stattfindens, d. i. die Gesetze vor, nach welchen sie erfolgen müssen.

Bei Erforschung dieser Gesetze, welche, da sie ihren Grund in der Natur haben, Naturgesetze genannt werden, führen oft Beobachtungen und Experimente allein zum Ziel, meistens liefern diese (Beobachtungen und Experimente) aber nur das rohe Material, welches nachher erst der Verstand zur Verarbeitung übernehmen, ordnen und verknüpfen muß, um das in der Erscheinung liegende Gesetz zu

enthüllen. Der Verstand leitet so durch Folgerungen, Schlüsse u. s. w. aus den Ergebnissen der Beobachtung und Experimente nicht selten physikalische Wahrheiten ab, zu deren Kenntniß man auf dem Erfahrungswege vielleicht niemals gekommen wäre. Die ersprießlichsten Dienste leistet bei dieser Ableitung von Gesetzen und anderen Wahrheiten aus den Erscheinungen und vorzüglich bei Bestimmung des Maßes und der Größe dieser letzteren die Mathematik, welche hiebei eine so wichtige Rolle spielt, daß von Kant in seinen metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft mit vollem Rechte gesagt werden konnte, es gebe in der Physik nur so viel eigentliche Wissenschaft, als sie Mathematik enthält.

8. Wägbare und unwägbare Stoffe. Die Erscheinungen, die überhaupt in der Körperwelt vor sich gehen, und namentlich die räumlichen oder physikalischen Erscheinungen müssen sehr oft gewissen Potenzen zugeschrieben werden, welchen die Hauptbedingung der Körperlichkeit d. i. die Eigenschaft, einen Raum auszufüllen, abgeht, die also unkörperlich sind, mit den Körpern aber in innigster Verbindung stehen, selbe in mannigfaltige Zustände und Wechselwirkungen versetzen, und dadurch die eigentliche Ursache sehr zahlreicher und eben so interessanter als wichtiger physikalischer Erscheinungen werden. Die Physik muß demnach auch von diesen unkörperlichen Potenzen handeln, die man, ohne ihr eigentliches Wesen zu kennen, mit dem Namen Licht, Wärme, Elektrizität und Magnetismus bezeichnet, und es ist zweckmäßig, ja nothwendig, die Physik in zwei streng von einander geschiedene Hauptabtheilungen zerfallen zu lassen, nämlich in die Lehre von den Körpern und in die Lehre von den genannten Potenzen und den durch sie bedingten Erscheinungen.

Man hat diese Potenzen früher als eigenthümliche Stoffe betrachtet, und dieselben, da sich an ihnen die allen Körpern zukommende Eigenschaft, ein Gewicht zu haben (wägbar zu sein), nicht nachweisen läßt, unwägbare Stoffe oder Imponderabilien genannt, im Gegensatze zu den Körpern, welche Ponderabilien, d. i. wägbare Stoffe, heißen. In wiefern die Vorstellung von eigenen imponderablen Stoffen, als den Ursachen der Licht-, Wärme-, der elektrischen und magnetischen Erscheinungen mit den betreffenden Erscheinungen vereinbar ist, läßt sich erst in der Folge, nämlich bei Behandlung dieser Erscheinungen selbst, einsehen.

9. Nutzen der Physik. Der Nutzen, den die Physik den Menschen jedes Standes in jedem ihrer Hauptlebensverhältnisse bringt, ist so vielseitig und groß, daß es zur Auseinandersetzung desselben in seinem ganzen Umfange hier an Raum fehlt. Es mag demnach genügen, in Rücksicht auf die eigentliche Bestimmung des vorliegenden Buches, bloß auf die Nützlichkeit und Nothwendigkeit des Studiums der Physik für Techniker und Gewerbtreibende kurz hinzudeuten. Die meisten in den Gewerben in Anwendung kommenden Processe, Operationen, Apparate, Werkzeuge und Maschinen beruhen auf physikalischen Grundsätzen, und sind desto vollkommener, ihrem Zwecke desto entsprechender, je genauer sie nach den Lehren der Physik ausgeführt und gehandhabt werden. Ja die alleinige Hinweisung auf die Wärme, die in den meisten Gewerben, in der gesammten Technik eine so hochwichtige Rolle spielt, und deren Wirkungen, deren zweckmäßigste Erzeugung und Verwendung nur die Physik lehrt, stellt die Nützlichkeit und Nothwendigkeit dieser Wissenschaft für Techniker und Gewerbtreibende ganz außer Zweifel, und es wird eine Hauptaufgabe des vorliegenden Buches sein, die physikalischen Lehren stets mit vorzüglicher Rücksicht auf ihre Anwendung in der Technik, in den Künsten und Gewerben darzustellen.

Erste Abtheilung.

Von den Körpern oder wägbaren Stoffen.

I. Abschnitt.

Von den allgemeinen Eigenschaften der Körper.

1. Allgemeine Eigenschaften. Eigenschaften, welche allen Körpern ohne Ausnahme zukommen, heißen allgemeine Eigenschaften der Körper. Es sind folgende: Ausdehnung, Figurabilität, Undurchdringlichkeit, Trägheit, Theilbarkeit, Porosität, Zusammendrückbarkeit, Ausdehnbarkeit, Schwere.

2. Ausdehnung und Figurabilität. Ausdehnung ist die Eigenschaft, einen Raum einzunehmen. Der begrenzte Raum selbst, welchen die Materie eines Körpers einnimmt, heißt das Volum oder der Rauminhalt des Körpers. Die Art der Begrenzung dieses Raumes bestimmt die Gestalt oder Figur des Körpers. Jeder Körper ist daher ausgedehnt und hat eine Figur, d. h. besitzt die Eigenschaften der Ausdehnung und der Figurabilität, und beide Eigenschaften liegen (gemäß 1. der Einleitung) schon im Begriffe eines Körpers, sind also wesentliche Eigenschaften und können keinem Körper fehlen.

Sehr viele Körper und oft selbst noch die kleinsten Theile derselben, besitzen bekanntlich eine sehr regelmäßige oder wenigstens symmetrische Gestalt, wie dies bei den Krystallen und bei unzähligen Thier- und Pflanzenkörpern der Fall ist. Interessant sind in dieser Beziehung: der Schnee, der bald als sechseckige Plättchen, bald als feine Nadeln u. s. w. fällt; die Staubtheilchen von Schmetterlingsflügeln, die dem gehörig bewaffneten Auge als lauter kleine Federchen mit Kiel und Bart erscheinen; das Blut, das sich unter dem Mikroskope in unzählige, in einer Flüssigkeit schwimmende Kügelchen auflöst; Querschnitte von Hölzern, an denen uns das Mikroskop die größte Regelmäßigkeit im inneren Gefüge zeigt u. s. w. Erwähnt zu werden verdient endlich noch, daß an den organischen Körpern runde, und an den unorganischen eckige Formen vorherrschen.

3. Messen der Volume. Maßeinheiten. Das Volum oder der Rauminhalt hat bei verschiedenen Körpern eine verschiedene Größe, und läßt sich, wenn die Körper eine geometrische Gestalt haben, nach den Vorschriften der Geometrie messen, d. h. durch eine Zahl ausdrücken, welche das Verhältniß des in Frage stehenden Rauminhaltes zu irgend einem als Einheit (Maß) angenommenen Rauminhalte angibt. Um aber eine solche Messung vornehmen zu können, muß, wie bekannt, vor Allem die Grundlage derselben, d. i. irgend eine Längeneinheit (Einheit zum Messen der Längen-Dimensionen) festgestellt sein; ein Quadrat, dessen jede Seite der Längeneinheit gleich ist, dient dann als Einheit beim Messen der Flächen, und ein Würfel (Kubus), dessen jede Seite so lang ist, wie die Längeneinheit, wird als Einheit beim Messen der Rauminhalte gebraucht. Fast in jedem Lande hat die angenommene Längeneinheit und die daraus gebildete Flächen- und Volum-Einheit eine andere Größe und Benennung, und

durch Vervielfachen und Unterabtheilen der gewählten Längen-, Flächen- und Volum-Einheiten entstanden die verschiedenen, größeren und kleineren Maße, die in den einzelnen Ländern gebräuchlich sind. Die Tabellen **I**, **II** und **III** am Schlusse des Buches enthalten die meisten der in den verschiedenen Ländern gebräuchlichen Längen-, Flächen- und Körper-Maße und dienen zugleich zur Umwandlung der vorzüglichsten dieser Maße in einander. Die den Wiener Maßen zu Grunde liegende Längen-Einheit ist die Klafter; diese wird bekanntlich in 6 Fuß, der Fuß wieder in 12 Zolle, der Zoll in 12 Linien, und die Linie in 12 Punkte abgetheilt. Flächen werden meistens nach □ Meilen (Quadrat-Meilen), □ Klaftern, □ Fußen, □ Zollen, □ Linien, und Körperinhalte werden nach Kubik-Meilen, Kub. Klaftern, Kub. Fußen, Kub. Zollen und Kub. Linien gemessen. Andere wichtige Wiener-Maße sind: die Elle = 2·465 Wien. Fuß; das Joch = 1600 Wien. □ Klafter; der Eimer = 40 Maß = 1·792 Kub. Fuß; die Maß = 4 Seitel = 0·0448 Kub. Fuß; das Seitel = 19·3536 Kub. Zoll.

Außer dem Wiener Maße ist dem Physiker, Techniker und Gewerbtreibenden noch vorzüglich die Kenntniß des alt- und neu-französischen, des englischen und des rheinländischen Maßes, so wie des Verhältnisses dieser Maße zu dem Wiener Maße und unter einander wichtig. Dem altfranzösischen (Pariser) Maße liegt als Einheit die Toise (französische Klafter) zu Grunde, und diese wird wie die Wiener Klafter in 6 Fuße eingetheilt. 1 (Pariser) Fuß enthält 12 Pariser Zolle, und 1 Zoll 12 Pariser Linien. Ein Pariser Fuß mißt 1·0276 Wiener Fuß. — Die Flächen-Maße werden größtentheils auch hier durch Quadrirung (man hat Quadrattoise, Quadratfuß u. s. w.) und durch Kubirung (Kubiktoise, Kubikfuß ꝛc.) aus dem angegebenen Längenmaße gebildet. Das neufranzösische (metrische) Maß, welches wegen seiner Unterabtheilung in Zehntheile (Decimalen) bei der Rechnung sehr große Bequemlichkeit gewährt, hat den Meter, d. i. den 10000000 Theil eines Erdmeridian-Quadranten *) zur Einheit. Der zehnte, hundertste, tausendste Theil des Meters heißt Decimeter, Centimeter und Millimeter. Das Zehnfache, Hundertfache, Tausendfache und Zehntausendfache des Meters heißt Decameter, Hectometer, Kilometer und Myriameter. 1 Meter ist = 3·1635 Wien. Fuß = 3·0784 Pariser Fuß. — Die Einheit des Flächenmaßes bildet die Are, d. i. ein Quadrat von 1 Decameter (10 Meter) Seitenlänge. Die Are hat demnach 100 Quadratmeter. Der zehnte, hundertste und tausendste Theil der Are heißt Deciare (= 10 □ Meter), Centiare (= 1 □ Meter) und Miliare. Das Zehnfache, Hundertfache, Tausendfache und Zehntausendfache der Are heißt Decare (= 1000 □ Meter), Hectare (= 1 □ Hectometer = 10.000 □ Met.), Kiliare (= 100.000 □ Met.) und Myriare (= 1 □ Kilometer = 1 Million □ Met.) 1 Are ist = 27·7998 Wiener □ Klafter. — Das Grundmaß für Körper ist der Litre, d. i. ein Würfel von 1 Decimeter Seitenlänge; er ist demnach der tausendste Theil eines Kubikmeters. — Ein Litre ist = 0,707 W. Maß = 0,0316 W. Kub. Fuß = 54·7093 W. Kub. Zoll. Aus dem Litre werden durch Unterabtheilen und Vervielfachen folgende kleinere und größere Körpermaße erhalten:

Decilitre	= 0·1	Litre	Hectolitre	= 100	Litre
Centilitre	= 0·01	„	Kilolitre oder Stère	= 1000	„
Millilitre	= 0·001	„	Decistère	= 100	„
Decalitre	= 10	„	Decastère	= 10.000	„

Die Grundlage der englischen Maße ist das Yard. Ein Yard ist = ½ Faden = 3 engl. Fuß. Der engl. Fuß, welcher ebenfalls in 12 Zolle und in 12 × 12 = 144 Linien eingetheilt wird, ist = 0·9642 Wiener Fuß, = 0·9383 Pariser Fuß, = 0·3048 Meter.

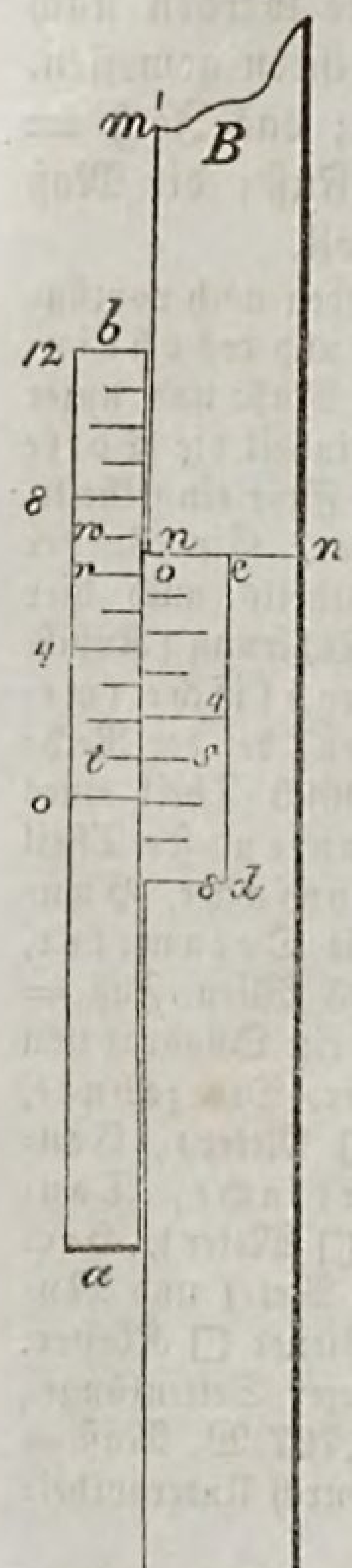
Das rheinische Maß ist auf den rheinländischen Fuß basirt, welcher auch in 12 Zolle und 12 × 12 = 144 Linien eingetheilt wird. Ein rheinischer Fuß ist = 0·9928 W. Fuß = 0·3138 Meter. Auch aus den englischen und rheinischen Längenmaßen sind durch Quadrirung und Kubirung Flächen- und Körpermaße gebildet.

4. Der Nonius und dessen Gebrauch. Zur Vollführung der Operation des Messens von Längen dienen meistens Maßstäbe, deren Einrichtung und Gebrauch als bekannt vorausgesetzt werden muß. Mittelst eines Maßstabes können aber Längen nur bis auf solche Stücke genau gemessen werden, die nicht

*) Erdmeridian-Quadrant ist der vierte Theil (Quadrant) eines durch die beiden Erdpole gehenden Umkreises der Erde.

kleiner sind, als die auf dem Maßstabe verzeichneten kleinsten Unterabtheilungen. So lassen sich mit einem Maßstabe, worauf die kleinsten Abtheilungen Wiener Linien sind, nur bis auf eine Wiener Linie genaue Längenmessungen vornehmen. Kleinere Längenstücke, wie sie häufig, — nachdem der Maßstab so oftmals als es angieng, auf die zu messende Längenausdehnung aufgetragen worden, — zuletzt noch übrig bleiben, indem das Ende der zu messenden Längenausdehnung zwischen zwei Theilstriche des Maßstabes hineinfällt, können blos nach dem Augenmaße beiläufig geschätzt werden. Man erfährt z. B. durch wiederholtes Auftragen

Fig. 1.



des Maßstabes ab (Fig. 1), von dem vorausgesetzt werden soll, er sei 2 Wiener Zoll lang und in Wiener Linien getheilt, daß die Seite mm' der Platte AB, von m bis zum Striche n hin, 3 Zoll 6 und ungefähr $\frac{1}{2}$ W. Linie lang sei. Um die Länge des zwischen den sechsten und siebenten Theilstrich (r und w) des Maßstabes fallenden, nach dem Augenmaße auf $\frac{1}{2}$ W. Linie geschätzten Stückes on genau zu bestimmen oder (allgemein gesprochen), um durch einen Maßstab Längenausdehnungen bis auf weit kleinere Theile scharf und richtig messen zu können, als sich auf dem Maßstabe deutlich sichtbar und ohne die Genauigkeit seiner Theilung zu beeinträchtigen, verzeichnen lassen, bedient man sich zugleich mit einem passenden Maßstabe eines sogenannten Nonius oder Vernier, d. i. eines zweiten, gewöhnlich kürzeren Maßstabes, der sich längs des anderen (welchen wir den Hauptmaßstab nennen wollen) verschieben läßt, welcher ferner so lang ist, als eine gewisse (nach dem Bedürfniß sich richtende) Anzahl der kleinsten Unterabtheilungen des Hauptmaßstabes zusammengenommen, und der endlich in gleiche Theile getheilt worden, deren Zahl um 1 kleiner ist, als die Anzahl jener kleinsten Unterabtheilungen des Hauptmaßstabes, die zusammengenommen die Länge des Nonius ausmachen. So kann der Maßstab de (in Fig. 1), welcher 9 Wiener Linien lang und in 8 gleiche Theile getheilt ist, den Nonius zu dem (in Wien. Linien getheilten) Maßstab ab abgeben.

Um nun das zwischen dem sechsten und siebenten Theilstriche r und w des Maßstabes ab gelegene Stückchen on der Linie mn zu messen, schiebt man den Nonius de längst dem an der Linie mn liegenden Maßstabe ab so weit hin, bis das Ende des Nonius, an welchem die Nummerirung seiner Theilstriche anfängt, d. i. bis der Anfangs- oder Nullpunct des Nonius ganz genau am äußersten Ende n der zu messenden Linie mn eintrifft, sieht dann, der wie vielte Theilstrich des Nonius mit irgend einem Theilstriche des Maßstabes so nahe zusammenfällt, daß man den einen Strich als die Verlängerung des andern betrachten kann (in der Fig. 1 ist dies beim 5. Theilstriche s des Nonius, — vom Ende e, als dem Nullpunkte des Nonius aus gezählt, — der Fall), und erhält jetzt ganz einfach die Länge von on wie folgt. Diese Länge on ist (wie Fig. 1 zeigt) offenbar gleich dem Unterschiede zwischen der Länge der fünf Unterabtheilungen se des Nonius und der fünf Unterabtheilungen tr des Maßstabes oder on $=$ se $-$ tr. Die Länge einer Unterabtheilung des 9 Linien ($9'''$) langen und in 8 gleiche Theile eingetheilten Nonius beträgt aber $\frac{9}{8}'''$, und die Länge einer Unterabtheilung des in Wien. Linien getheilten Maßstabes ist $= 1'''$; mithin ist on $= 5\frac{9}{8}''' - 5.\ 1'''$.

Auf gleiche Benennung gebracht, und wirklich abgezogen, so ist

$$\text{on} = 5.\ \frac{9}{8}''' - 5.\ \frac{8}{8}''' = 5.\ (\frac{9}{8}''' - \frac{8}{8}''') = \frac{5}{8}''' \quad . \ . \ . \quad (\dagger)$$

Hätte man zum Messen von on eines in Millimeter getheilten Maßstabes sich bedient, hätte den Nonius z. B. 26 Millimeter lang gemacht und in 25 gleiche Theile eingetheilt, wäre ferner bei Verschiebung des Nonius bis an's äußerste Ende von on hinaus, der 17. Theilstrich des Nonius mit einem Theilstriche des Maßstabes in eine und dieselbe gerade Linie gefallen, und man hätte die Länge von on in gleicher Art wie vorher berechnet, so wäre im vorstehenden Ausdrucke (†) 17 anstatt 5, ferner 26^{mm} (26 Millimeter) und 1^{mm} anstatt $9'''$ und $1'''$, und 25 anstatt 8 zu stehen gekommen und man hätte als Endresultat für die Länge von on den Bruch $^{17}/_{25}{}^{mm}$ erhalten. . . . (††)

Oder allgemein. Ist a eine Unterabtheilung des Maßstabes und man macht den Nonius so lang wie n solche Abtheilungen, daß also na seine Länge ist, theilt diese aber in n—1 gleiche Theile; so ist ein solcher Noniustheil $= \frac{na}{n-1}$ mithin der Unterschied zwischen einer Unterabtheilung des Nonius und einer des Maßstabes $= \frac{na}{n-1} - a = \frac{na - na + a}{n-1} = \frac{a}{n-1}$, daher die Differenz zwischen m Unterabtheilungen des Nonius und des Maßstabes $= m \cdot \frac{a}{n-1}$. . . . . (1)

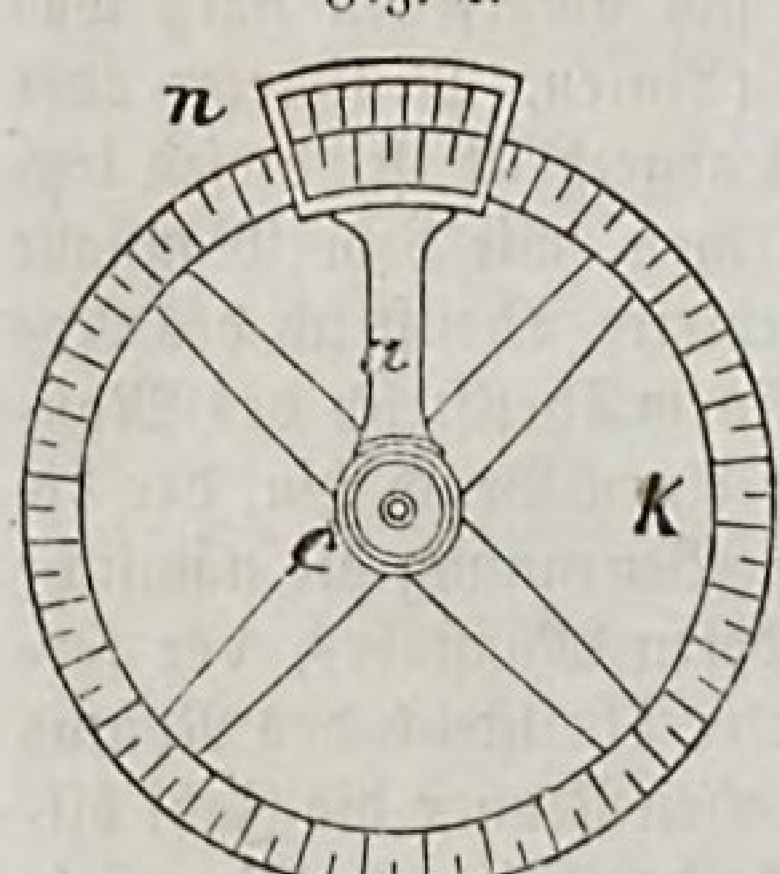
Man sieht also, daß allgemein eine mittelst irgend eines Maßstabes sammt zugehörigem Nonius bestimmte Länge immer ausgedrückt gefunden werden muß durch einen Bruch (A), dessen Benennung die nämliche ist, wie jene der kleinsten Unterabtheilungen (Wien. Linien oder Millimeter u. s. w.) des angewendeten Maßstabes, der ferner zum Zähler die Zahl hat, welche anzeigt, der wievielte Theilstrich des Nonius mit irgend einem Theilstriche des Maßstabes zusammenfällt, und dessen Nenner die Zahl bildet, welche angibt, in wie viele gleiche Theile der Nonius eingetheilt worden. Die Messungen mit dem Nonius sind demnach etwas rein Mechanisches: man schiebt nämlich, nachdem man vorher sich umgesehen hat, was die kleinsten Theile des Maßstabes für eine Benennung (Linien, Millimeter oder dgl.) führen, und in wie viele gleiche Theile der Nonius abgetheilt ist, diesen letzteren längs dem Maßstabe bis ans äußerste Ende des kleinen, mit dem Maßstabe allein nicht meßbaren Längenstückes hinaus, sieht, der wievielte Theilstrich des Nonius (vom Anfangspunkte dieses letzteren aus gezählt) mit einem Theilstrich des Maßstabes zusammenfällt, und schreibt als Resultat mechanisch einen Bruch hin, der die vorn bei (A) angegebene Beschaffenheit hat, d. h. dessen Benennung die nämliche ist, wie jene der kleinsten Unterabtheilungen des angewendeten Maßstabes, der ferner zum Zähler die Zahl hat, welche anzeigt, der wie vielte Theilstrich des Nonius mit einem Theilstriche des Maßstabes zusammenfällt, und dessen Nenner die Zahl bildet, welche angibt, in wie viele gleiche Theile der Nonius abgetheilt ist. Man sieht zugleich, daß die Benennung jener kleinsten Maßstab-Unterabtheilungen, welche zusammengenommen die Länge des Nonius ausmachen, und die Anzahl der gleichen Theile, in welche der Nonius getheilt ist, die Benennung und Größe des Bruchtheils bestimmen, bis auf welchen man mittelst des Nonius noch genau messen kann. So mißt der 9 Wien. Linien lange und in 8 gleiche Theile oder Achtel getheilte Nonius noch Achtel einer Wien. Linie, und ein 26 Millimeter langer und in 25 gleiche Theile eingetheilter Nonius (an einem in Millimeter getheilten Maßstabe) würde noch Fünfundzwanzigstel eines Millimeters genau messen. Endlich ergibt sich aus dem Vorhergehenden auch von selbst die Lösung der Aufgabe, einen Maßstab mit Nonius zu construiren, mit dem sich noch bestimmte kleine Längentheile (z. B. Fünfzigstel eines Millimeters) richtig messen lassen. Man hat nämlich den Maßstab in Theile zu theilen, die dieselbe Benennung haben, wie jene, wovon noch Bruchtheile genau gemessen werden sollen (also, nach unserem Beispiele, in Milli-

meter), hat den Nonius, da man mit demselben noch $^1/_{50}$ Millimeter messen will, $50 + 1 = 51$ Millimeter lang zu machen und nachher in 50 gleiche Theile zu theilen.

Man erhält zu einem Maßstab auch einen Nonius, indem man den zweiten Maßstab, der den Nonius bilden soll, in $n + 1$ gleiche Theile theilt, wenn man ihn n Unterabtheilungen des Hauptmaßstabes lang gemacht hat. Ein solcher Nonius ist ganz wie einer der ersteren Art zu gebrauchen; nur müssen nach erfolgter Verschiebung desselben bis an den Endpunkt des zu messenden Stückes hinaus die Nonius-Unterabtheilungen von den zwei in eine gerade Linie zusammenfallenden Theilstrichen des Maßstabes und Nonius aus gegen das von dem Endpunkte des zu messenden Stückes abgewendete Ende des Nonius hin gezählt, und ihre Anzahl muß dann bei der Rechnung von einer gleichen Anzahl Maßstabs-Unterabtheilungen subtrahirt werden. Das Resultat ist dann gleichfalls ein Bruch, dessen Benennung, Zähler und Nenner ganz die nämliche Bedeutung haben, wie bei den frühern unter (†) und (††) angeführten Brüchen. Man pflegt Nonien dieser zweiten Art nachtragende, auch schleichende Nonien zu heißen, und der allgemeine Ausdruck für die Differenz zwischen m Unterabtheilungen des Maßstabes und des Nonius ist offenbar $= m \cdot \frac{a}{n+1}$, worin a wieder die Länge einer Unterabtheilung des Maßstabes bedeutet, und welcher Ausdruck sich auf ganz ähnlichem Wege ergibt, wie jener unter (1), nämlich $m \cdot \frac{a}{n-1}$ für den vortragenden Nonius. Mittelst eines passenden Nonius kann noch $^1/_{100}$ Wien. Linien und unter Zuhilfenahme einer Loupe (eines Vergrößerungsglases) selbst $^1/_{200}$ W. Linie gemessen werden.

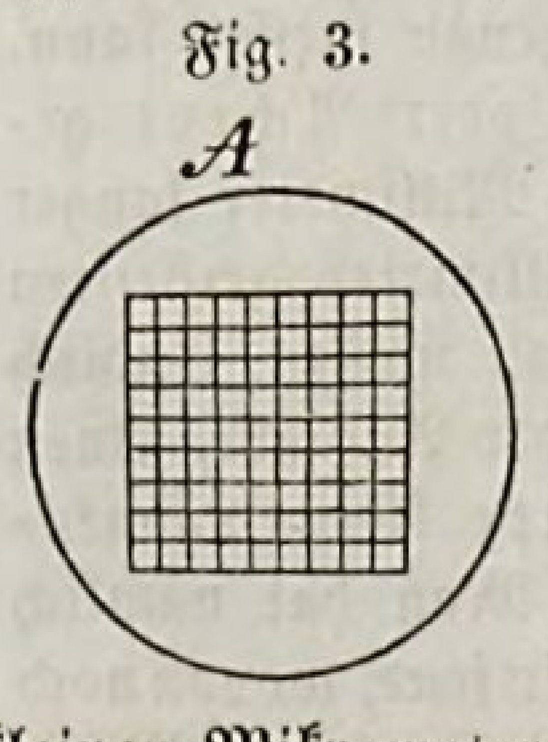
Daß die krummlinigen Nonien, die man an getheilten Kreisen oder andern zum Messen von Winkeln nach Bogengraden bestimmten Instrumenten angebracht findet (wie in Fig. 2, wo k den getheilten Kreis, Limbus genannt, und n den am Ende der ums Centrum c beweglichen Alhidade a angebrachten Nonius vorstellt) auf denselben Principien beruhen, auf die nämliche Art construirt und zum Behufe schärferer Winkel-Messungen ganz so gebraucht werden, wie die Nonien an geradlinigen Maßstäben, leuchtet von selbst ein. Mit einem Nonius, der sich an einem in halbe Minuten eingetheilten Kreise verschiebt, und der 31 Unterabtheilungen des Kreises (also 31 halbe Minuten) lang und in 30 gleiche Theile getheilt ist, können nach dem Vorhergehenden noch Dreißigstel einer halben, d. i. Sechzigstel einer ganzen Minute, also Sekunden gemessen werden.

Fig. 2.



Ferner sind hier noch folgende, das Messen von Ausdehnungen betreffende Apparate und Operationen anzuführen. Das Mikrometer (Fig. 3), d. i. ein auf einem Planglase A eingeritztes, aus rechtwinklig sich durchkreuzenden Linien gebildetes kleines Gitter, in welchem die Längen dieser Linien und ihrer Unterabtheilungen, somit auch die Flächen der entstandenen Quadratchen bekannt sind. Ist z. B. die Länge einer Wien. Linie mittelst eines Diamantes in 10 oder 20 Theile getheilt, so hat ein solches Quadratchen $^1/_{100}$ oder $^1/_{400}$ □ Linie in der Fläche. Es dient das Mikrometer zum Messen sowohl der Längen- als Flächen-Ausdehnungen kleiner Gegenstände. Man legt diese auf das Gitter und schätzt, bei sehr kleinen Mikrometer-Abtheilungen durch ein Mikroskop (Vergrößerungsglas) sehend,

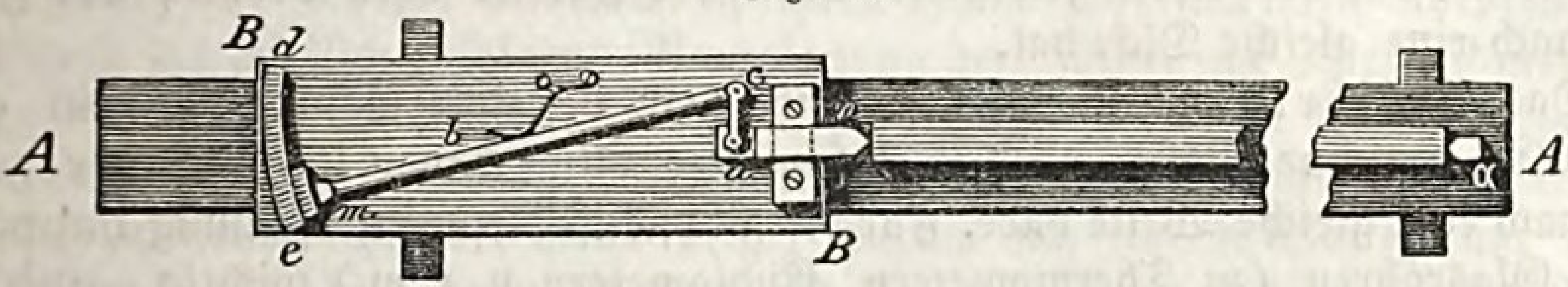
Fig. 3.



nach der Länge der Linie oder nach der Anzahl Quadratchen, die diese Gegenstände decken, die Längen- und Flächenausdehnung dieser letzteren.

Der Comparator dient vorzüglich zum Messen des Unterschiedes zweier von einander nicht viel verschiedener Längen, z. B. zweier Maßstäbe, die gleich zu sein scheinen, und gewährt dabei eine größere Genauigkeit, als der Nonius. Fig. 4 zeigt eine der einfachsten Einrichtungen, die man diesem Instrumente geben kann,

Fig. 4.



und versinnlicht hinreichend das Wesen und den Gebrauch eines Comparators. **AA** ist eine wohlgeebnete Metallplatte, die an einem Ende einen aus ihrer Ebene hervorstehenden Zapfen α hat, welcher an der einen Seite (in der Figur ist es die linke) mit einer auf **AA** vertikal stehenden Schneide versehen ist. Am anderen Ende trägt sie den Schlitten **BB**, der sich auf **AA** der ganzen Länge nach verschieben und mittelst 2 Druckschrauben, (die zur Zeichnung leicht hinzugedacht werden können), in jeder Stellung an **AA** feststellen läßt. Auf diesem Schlitten **BB** dreht sich um eine vertikale Achse c ein Winkelhebel acb, an dem der eine Arm cb zehnmal länger ist, als der andere Arm ac. Das freie Ende des längeren Armes bewegt sich über einem auf **BB** festgemachten, in kleine Theile eingetheilten Kreisbogen de und trägt selbst eine kleine, kreisbogenförmige, eingetheilte Platte m, welche für den Bogen de den Nonius bildet. Man begreift, daß, da der Arm cb 10mal länger ist, als der Arm ac, das Ende m immer einen 10mal größeren Weg durchlaufen müsse, als das Ende a des Armes ac. Wir wollen annehmen, für jede Verrückung von a um 0·1''' bewege sich der Nonius m auf dem Bogen de immer um 1 Theilstrich dieses letzteren weiter. Um nun den etwaigen kleinen Längenunterschied z. B. zweier Maßstäbe zu ermitteln, legt man den einen dieser Maßstäbe auf die Metallplatte **AA**, so daß er mit dem einen Ende an der Schneide des Zapfens α anliegt, schiebt dann den Schlitten **BB** an das zweite Ende des Maßstabes so weit an, daß das in einem Falze, in einem Bügel oder in einer andern passenden Führung hin und her bewegliche, am Ende schneidige Stück n das besagte zweite Ende des Maßstabes berührt, der Anfangs- oder Nullpunkt des Nonius m ungefähr in der Mitte des Kreisbogens de steht und mit einem Theilstrich des letzteren zusammenfällt, worauf man mittelst der vorerwähnten Druckschrauben den Schlitten **BB** auf der Platte **AA** feststellt. Eine Feder o, welche gegen den Hebelarm b drückt, bewirkt, daß der kleine Hebelarm ac die vordere Schneide des beweglichen Stückes n beständig mit dem Ende des Maßstabes in Berührung erhält. Bringt man hierauf den zweiten der zu vergleichenden Maßstäbe an die Stelle des ersten, so wird, falls die 2 Maßstäbe eine ungleiche Länge haben, der Nullpunkt des Nonius auf dem Bogen de um eine bestimmte Größe (Anzahl Unterabtheilungen von de oder aliquoter Theile derselben) verrückt, die sich eben mit dem Nonius leicht bestimmen läßt, und durch 10 dividirt, (weil, wie vorher bemerkt wurde, das Ende m einen 10mal größeren Weg zurücklegt, als das Ende a) den Längenunterschied der 2 verglichenen Maßstäbe in Zehnteln einer Linie gibt. (Comparatoren vorzüglicher Einrichtung findet man im Supplementbande zu Baumgartner's Naturlehre, und im 8. Bande der Jahrbücher des k. k. Wiener polyt. Institutes beschrieben.)

Der Fühlhebel, das Sphärometer und die Mikrometerschraube, Instrumente zu sehr scharfen und subtilen Messungen, können, wenn sie gehörig verstanden werden sollen, erst später an einem passenderen Orte beschrieben werden.

Das Messen der Durchmesser dünner Fäden oder Drähte ge-

schieht, indem man den betreffenden Faden oder Draht hinlänglich oft um einen dünnen Cylinder, z. B. um ein gleichförmig dickes, cylindrisches Glasröhrchen, herumwindet, die Windungen bis zu inniger Berührung an einander schiebt, die Länge des so gebildeten Faden- oder Draht-Cylinders mißt, und diese Länge durch die Anzahl der Windungen dividirt. Der Quotient gibt die Dicke (den Durchmesser), des Fadens oder Drahtes, aber natürlich nur dann mit annehmbarer Genauigkeit, wenn das um das Röhrchen gewickelte Stück des Fadens oder Drahtes der ganzen Länge nach eine gleiche Dicke hat.

Das Calibriren. Darunter versteht man die Untersuchung, ob ein cylindrisches Gefäß, eine Röhre oder ein bestimmtes Stück davon innerlich der ganzen Länge nach eine gleiche Weite habe. Für die Physik ist diese Untersuchung hauptsächlich bei Glasröhren (zu Thermometern, Eudiometern u. s. w.) wichtig, und kann auf zweifache Weise vollführt werden: entweder a), indem man wiederholt gleiche Gewichtsmengen reinen Quecksilbers in das zu calibrirende Gefäß (die Röhre o. dgl.) gießt, den Stand jeder dieser Mengen daran markirt, und durch Abmessung bestimmt, ob jede solche Menge einen Cylinder derselben Länge bildet, in welchem Falle das Gefäß ein gleiches Caliber hat, d. h. calibrirt ist; oder b) (was vorzüglich auf engere Röhren anwendbar ist), indem man eine kleine Menge Quecksilber in die Röhre bringt, die Länge des dünnen, etwa einige Zolle langen Cylinders, den es darin bildet, z. B. mittelst eines Zirkels mißt, den Quecksilbercylinder in der Röhre durch allmäliges Neigen dieser letzteren immer um seine Länge weiter laufen läßt, und jedesmal diese Länge von Neuem mißt. Wenn die Röhre überall gleich weit ist, muß natürlich die Länge des Quecksilbercylinders stets die nämliche bleiben. Das unter a) angegebene Verfahren dient zugleich dazu, Gefäße oder Röhren in gleiche Raumtheile, selbst von bestimmtem Inhalte, zu theilen, wie dieß zu verschiedenen physikalischen und technischen Zwecken häufig erforderlich ist. Die Marken oder Zeichen nämlich, welche an dem zu calibrirenden Gefäße nach erfolgtem Einschütten jeder einzelnen der gleichen Quecksilbermengen in dasselbe zur Bezeichnung des Standes ihrer Oberfläche gemacht werden, bilden eine Scale, die gleiche Raumtheile an dem Gefäße anzeigt. Soll jeder dieser gleichen Theile eine bestimmte Größe (z. B. von 1 Kub. Zoll, von $\frac{1}{2}$ Kub. Zoll, von $\frac{1}{10}$ Kub. Zoll, von 1 Kub. Centimeter, von $\frac{1}{3}$ Kub. Centimeter u. s. w.) haben, so muß jede der gleichen Quecksilbermengen, die nacheinander in das betreffende Gefäß gegossen werden, 1 Kub. Zoll, $\frac{1}{2}$ Kub. Zoll, $\frac{1}{10}$ Kub. Zoll, 1 Kub. Centimeter, $\frac{1}{3}$ Kub. Centimeter u. s. w. Rauminhalt haben. Quecksilbermengen solcher Rauminhalte verschafft man sich aber leicht durch Abwägen, wobei das Gewicht eines Kub. Zolles reinen Quecksilbers für die während des Calibrirens Statt findende Temperatur als Anhaltspunkt und die diesem Buche angehängte Tabelle Nr. **III.** zur leichten Verwandlung der Kubikzolle in Kub. Decimeter, Kub. Centimeter, und in die andern gebräuchlichen Körper- oder Rauminhaltsmaße dienen.

Bestimmung des Rauminhaltes 1) eines hohlen Gefäßes und 2) eines massiven Körpers, bei welchen sich wegen ihrer unregelmäßigen Gestalt der Rauminhalt nach den Vorschriften der Geometrie nicht messen läßt.

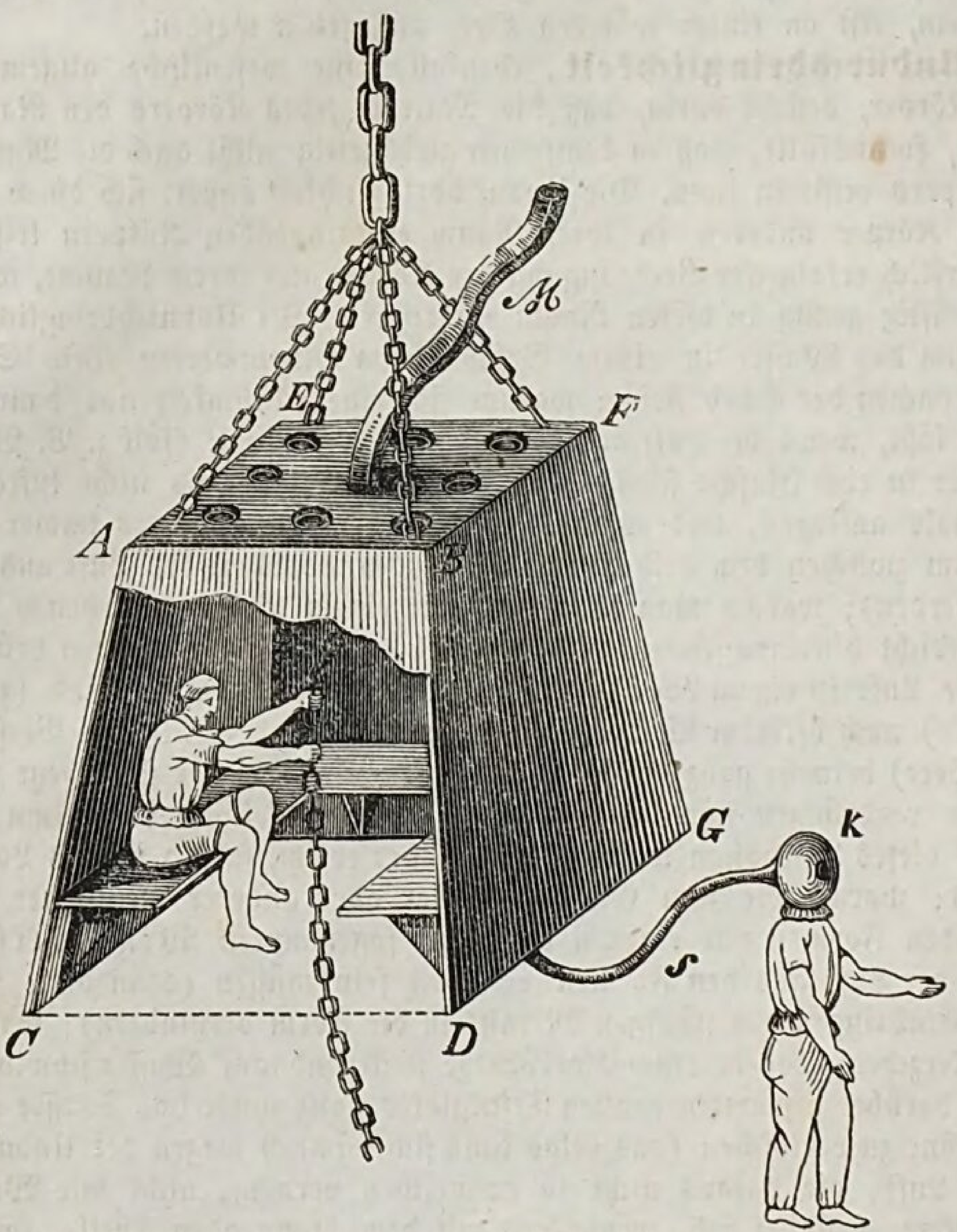
Ad 1). Man füllt das Gefäß genau voll mit reinem Quecksilber oder Wasser, bestimmt dann das Gewicht des eingefüllten Quecksilbers oder Wassers, und ermitelt (durch Division) wievielmal in diesem Gewichte das bekannte Gewicht einest Kubikzolles dieses Quecksilbers oder Wassers enthalten ist. Die Zahl, welche dieses anzeigt, ist zugleich das Maß des gesuchten Rauminhaltes nach Kubikzollen. Wie das Gewicht eines Kub. Zolles Quecksilbers oder Wassers für irgend eine bestimmte Temperatur erhalten werde, wird die Folge lehren. Bei mittlerer Temperatur (14° R.) beträgt dieses Gewicht für Quecksilber 14·173 und für Wasser

1·043 Wien. Lothe. Ad 2). Das hieher gehörige Verfahren kann, um gehörig verständlich zu sein, erst an einem späteren Orte angegeben werden.

5. Die Undurchdringlichkeit, ebenfalls eine wesentliche allgemeine Eigenschaft der Körper, besteht darin, daß die Materie jedes Körpers den Raum, den sie einnimmt, so ausfüllt, daß in demselben gleichzeitig nicht auch die Materie eines andern Körpers existiren kann. Die Undurchdringlichkeit äußert sich durch den Widerstand, den Körper anderen in ihren Raum eindringenden Körpern leisten, und durch die wirklich erfolgende Verdrängung der Körper aus ihrem Raume, wenn andere Körper kräftig genug in diesen Raum eindringen. Die Undurchdringlichkeit ist Ursache, warum das Wasser in einem Gefäße beim Hineinwerfen eines Steines oder Hineintauchen der Hand steigt; warum sich eine Flüssigkeit nur dann in ein Gefäß füllen läßt, wenn die Luft aus diesem entweichen kann (soll z. B. Wein aus einem Trichter in eine Flasche fließen, so darf der Trichterhals nicht luftdicht an den Flaschenhals anliegen, und es muß durch Heben des Trichters immer für einen freien Raum zwischen den beiden Hälsen zum Entweichen der Luft aus der Flasche gesorgt werden); warum man in einem, mit einem Boden versehenen Cylinder einen luftdicht hineinpassenden Kolben nie bis ganz an den Boden drücken kann; warum die Luft in einem Locale, wo viele Menschen versammelt sind (z. B. in einem Hörsaale) nach öfterem Wechseln, d. i. Kommen und Gehen der Versammelten (der Zuhörer) beinahe ganz durch frische Luft von außen her sich ersetzt zeigt (die Kommenden verdrängen nämlich ein ihrem Volum gleiches Luftvolum aus dem Locale, und dieses Luftvolum wird von außen her ersetzt, sobald sie das Locale wieder verlassen); warum die zum Gießen eiserner oder anderer metallener Gegenstände dienenden Formen mit eigenen Kanälen, sogenannten Windpfeifen, zum Entweichen der Luft aus den Formen versehen sein müssen (denn diese Luft würde sonst das Eindringen des flüssigen Metalls in die Form verhindern); warum ein brennendes Kerzchen, das in einer Korkscheibe steckt und auf Wasser schwimmt, sich sammt eines darüber gestürzten großen Trinkglases ganz unter das Wasser hinabdrücken läßt, ohne zu verlöschen (das Glas kann sich nämlich wegen der Undurchdringlichkeit der Luft, die daraus nicht zu entweichen vermag, nicht mit Wasser füllen und die Kerze befindet sich, wenigstens mit dem brennenden Theile, immer in der Luft.)

Auf der Undurchdringlichkeit der Luft beruht auch die in technischer Beziehung sehr wichtige Taucherglocke, d. i. ein Apparat, mittelst dessen sich Menschen im Meere oder in Flüssen bis zu nicht unbedeutenden Tiefen hinab begeben und daselbst beliebig lang verweilen können, entweder um, wie dies beim Hafen- und Brückenbaue nöthig ist, Bauten unter Wasser (z. B. die Anlegung von Brückenköpfen, Brückenpfeilern u. s. w.) vorzubereiten und auszuführen, oder um versunkene Güter, z. B. verunglückte Schiffe, aufzusuchen und aus dem Wasser emporzuschaffen, oder um die Schätze des Meeres, Perlen, Korallen u. s. w. zu gewinnen. Die zweckmäßigste, besonders in England am häufigsten übliche Einrichtung der Taucherglocke ist die zuerst von Smeaton angegebene und nachher noch verbesserte, von welcher die Fig. 5 eine Vorstellung gibt. Es besteht diese Taucherglocke aus einem eisernen, in einem Stücke gegossenen Kasten von der Form einer vierseitigen, abgestutzten Pyramide AFCG, der oben bei ABEF zu, unten aber offen, daselbst dicker im Metalle und an und für sich schon so schwer ist, daß er ohne Belastung im Wasser untersinkt. Die Höhe des Kastens beträgt 6′ und darüber, und die Seiten CD und DG am offenen Ende sind ungefähr so lang, als der Kasten hoch ist; die Seiten AB und BF am geschlossenen Ende sind verhältnißmäßig kürzer. (Uebrigens erleiden diese Dimensionen nach Umständen und Bedürfniß bedeutende Abänderungen; auch erhält die Glocke nicht selten die Gestalt eines abgestutzten Kegels). Im Deckel ABEF befinden sich mehrere (bis 12) Oeffnungen, mit eingekitteten mäßig dicken Gläsern zum Eintreten des Lichtes in den innern Kastenraum, und eine Oeffnung von 1 Zoll Durchmesser, in welcher ein elastischer Schlauch M von solcher Länge befestigt ist, daß er bei Versenkung der Glocke selbst zur größten Tiefe, zu der man mit derselben sich überhaupt hinab begeben kann, über die Oberfläche des Wassers hinauf reicht. Durch diesen Schlauch wird mittelst einer Druckpumpe der Glocke stets frische Luft zugeführt, und die durch das Athmen der in der Glocke sich aufhaltenden Menschen verdorbene Luft entweicht (indem die mit Gewalt beständig eingepumpte frische Luft das Wasser aus der Glocke bis an ihren unteren Rand

Fig. 5.



zurückdrängt) in großen Blasen unter diesen Rand hin ins äußere Wasser. (Ein erwachsener Mensch braucht zum Leben in der Stunde 8·33 par. Kub. Fuß Luft, da er in diesem Zeitraume 5·55 p. K. Fuß ihres ganzen Sauerstoffgehaltes beraubt und die Luft zum Athmen schon unbrauchbar wird, wenn sie 2/3 ihres Sauerstoffes verloren hat).— An den Seiten im Innern der Glocke sind Bänke angebracht zum Hinterlegen von Werkzeugen ꝛc. und zum Sitzen für die Arbeiter, welche, in der Tiefe angekommen, von den Sitzen herabsteigen, die Taucherglocke ohne Mühe auf dem Boden hinschieben und ihre Arbeit unter derselben verrichten. Da die in der Glocke vorhandene (hineingepreßte) Luft das Wasser dahin einzudringen verhindert, so befinden sich die Arbeiter stets in einem fortwährend mit frischer, athembarer Luft gespeisten Raume, können daher beliebig lang in der Glocke unter Wasser aushalten und ungehindert arbeiten. Der ganze Apparat hängt an einer Kette von einem drehbaren Krahn herab (der sich entweder am Ufer oder auf einem Schiffe befindet, welches an dem Platze, wo die Glocke ins Wasser versenkt werden soll, vor Anker gelegt wird) und kann mittelst dieses Krahnes im Wasser emporgezogen und hinabgelassen, auch so weit über das Wasser gehoben werden, daß die Arbeiter auf einem Kahne unter die Oeffnung der Glocke fahren, die mit hinabzunehmenden Sachen (Werkzeuge, Baumateriale u. s. w.) im Innern der Glocke oder an einer vom Glockendeckel herabhängenden Kette befestigen und dann sich selbst auf die für sie bestimmten Bänke begeben können. Die Kette, an welcher die Glocke vom Krahn herabhängt, dient zugleich dazu, den Schall der Schläge an die Oberfläche des Wassers fortzupflanzen, welche die Arbeiter in der Tiefe des Wassers mittelst eines Hammers an die eiserne Glocke geben, und durch welche sie sich mit den am Ufer oder auf dem besagten Schiffe befindlichen, die Glocke dirigirenden Leuten über diese erforderliche Dirigirung u. s. w. verständigen.— Der Tiefe, bis zu welcher man sich mit einer Taucherglocke in's Wasser hinablassen kann, wird dadurch eine Grenze gesetzt, daß, wenn einmal eine gewisse Tiefe erreicht worden, die Luft in der Glocke durch die hohe, von der Mündung der Glocke bis an die Wasseroberfläche reichende Wassersäule (die stets in die Glocke einzudringen sucht), einen sehr großen Druck erfährt, den sie auf die in der Glocke befindlichen Menschen überträgt, und den diese ohne Schaden zu leiden endlich nicht auszuhalten vermögen. In einer Tiefe von 32 Fuß unter der Oberfläche des Wassers übt dieses allein auf jeden Quadratzoll der in der Glocke eingeschlossenen Luft, einen Druck von nahe $12\frac{1}{2}$ W. Pfund; in einer doppelten, dreifachen Tiefe u. s. w. beträgt auch dieser Druck das Doppelte, Dreifache u. s. w. Mittelst einer aus festem, wasserdichtem Stoffe verfertigten

Kappe k, die der Arbeiter über den Kopf zieht und um den Hals so wasserdicht als möglich festmacht, welche ferner an der vor die Augen des Arbeiters zu liegen kommenden Stelle mit zwei luftdicht eingesetzten Gläsern zum Durchsehen und an der Hinterseite mit einem entsprechend langen elastischen Schlauch S versehen ist, dessen Ende in den Luftraum der Glocke hineinreicht, kann der Arbeiter auch die Taucherglocke verlassen, und außerhalb derselben in einem bedeutenden Umkreise manipuliren. Die frische Luft, welche durch die vorerwähnte Druckpumpe stets in's Innere der Glocke hineingepreßt wird, gelangt nämlich von hier durch den Kappenschlauch auch in die Kappe, unterhält das Athmen des Arbeiters und verhindert zugleich, indem sie an allen Stellen, wo die Kappe am Hals des Arbeiters nicht dicht anliegt, mit Gewalt in Blasen hervordringt, das Eindringen des Wassers in die Kappe.

Denkt man sich die Kappe aus starkem Messingblech verfertigt, unten an ihrem Halse in ein wasserdichtes, elastisches Kleid aus starkem Kautschukstoff übergehend, welches, eine Vereinigung von Schuhen, einem Beinkleide und einer Jacke darstellend, an dem besagten Kappenhalse wasserdicht befestigt ist, und einen darin steckenden Menschen freien Gebrauch seiner Hände und Füße gestattet; denkt man sich ferner den von der Kappe ausgehenden hinreichend langen Schlauch S unmittelbar mit der früher erwähnten Druckpumpe über der Wasseroberfläche vereinigt, endlich an der Kappe in der Mundgegend eine von innen nach außen sich öffnende Klappe angebracht, welche die durch das Athmen verdorbene und die durch die Druckpumpe überschüssig zugeführte frische Luft ins Wasser entweichen läßt; so hat man der Hauptsache nach eine gute Vorstellung von den in neuester Zeit vorzüglich in England construirten Apparaten für einzelne Taucher, die gewiß bald die weit kostspieligern und schwerfälligen Taucherglocken in den meisten Fällen ersetzen werden.

6. Die Trägheit oder (bezeichnender) das Beharrungsvermögen ist die Eigenschaft der Körper, den einmal angenommenen Zustand der Ruhe oder Bewegung durch sich selbst nicht ändern zu können. Körper, die in Ruhe sind, können sich nicht selbst in Bewegung versetzen, und Körper, die sich in Bewegung befinden, können durch sich selbst die Bewegung weder ganz vernichten, noch in irgend einer Weise (in Bezug auf Richtung oder Geschwindigkeit) abändern. Jede solche Veränderung kann nur durch etwas von dem Körper Verschiedenes, durch eine Kraft oder durch ein Hinderniß bewirkt werden; ist aber dann um so bedeutender, je größer und merklicher diese Kraft oder dieses Hinderniß, und je andauernder deren Einfluß ist. Da bei allen auf der Erde vorkommenden Bewegungen die rauhe Oberfläche der Körper, worauf andere sich bewegen, oder der Widerstand, den die Luft, das Wasser 2c., worin die Bewegung vor sich geht, leisten, solche wirksame Hindernisse bilden, so kann keine wie immer beschaffene irdische Bewegung unverändert und immerwährend fortdauern, sondern muß beständig eine Veränderung erfahren, und nach kürzerer oder längerer Zeit aufhören, während die Bewegungen der Himmelskörper, denen keine für sie erhebliche Hindernisse im Wege stehen, immer fortdauern. Ein auf dem Boden fortbewegter Körper kommt bald zur Ruhe, auf rauhem Boden eher, als auf glattem. Je größer und gewichtiger Schwungräder sind, desto länger bleiben sie in Bewegung, weil die Hindernisse der Bewegung (Reibung, Widerstand der Luft) von denselben leichter überwunden werden, als von kleineren und leichteren Rädern dieser Art. Wir schließen aus der längeren Dauer der Bewegungen bei Verminderung ihrer Hindernisse, daß einmal in Bewegung begriffene Körper sich ewig fortbewegen würden, wenn es gelänge, alle Hindernisse gänzlich zu beseitigen.

Zu weiterer Erläuterung der Wirkung der Trägheit mag Folgendes dienen: Würde man, um einen im raschen Gange begriffenen Eisenbahntrain schnell stillstehen zu machen, nur allein die an seiner Spitze befindliche Locomotive und nicht auch gleichzeitig und in gleichem Maße die nachfolgenden Wagons anhalten, so würden diese, im Streben, ihre Bewegung fortzusetzen, auf die Locomotive einen sowohl dieser als (in Folge der Rückwirkung) auch den Wagons und den Passagieren gefährlichen Stoß ausüben; wollte man umgekehrt das Stillstehen des Eisenbahntrains durch plötzliches Hemmen blos der letzteren Wagons bewirken, so müßte das Beharrungsvermögen der Locomotive und der vorderen Wagons eine heftige Erschütterung des ganzen Trains, ja, wenn, was meistens der Fall ist, dieses Beharrungsvermögen die Stärke der Verbindung der Wagons untereinander überwiegt, ein Losreißen der gehemmten Wagons von dem übrigen Zug zur Folge haben; — an jeder Maschine, woran mehrere in einander greifende

größere Theile mit bedeutender Gewalt in Bewegung sind, müßten Verletzungen und Brüche erfolgen, wenn man alle diese Theile durch plötzliches Anhalten nur eines einzigen stillstehen machen wollte, da die anderen Theile in ihrer Bewegung mit Gewalt zu beharren suchen; wegen des Beharrungsvermögens läuft der ganze Eisenbahntrain noch eine bedeutende Strecke fort, wenn auch der Dampf bereits außer Wirkung gesetzt worden. — Eine Eisenstange, die man, etwa in ihrer Mitte, kräftig auf einen Amboß schlägt (Verfahren beim Probiren des Eisens), biegt sich an dieser Stelle oder springt, wenn das Eisen spröde ist, von selbst ab, weil, während der in der Hand gehaltene Theil der Stange durch den Widerstand des Amboßes zur Ruhe gebracht wird, das über den Amboß hinausreichende Stück in seiner durch den Schwung erlangten Bewegung noch zu beharren sucht; — Körper, die auf einer bewegten Fläche liegen, gerathen, in der Bewegung, die sie gemeinschaftlich mit der Fläche haben, beharrend, darauf nach vorwärts in Bewegung, wenn die Fläche durch Anstoßen an ein Hinderniß angehalten wird (Vorfallen der auf einem Schiffe stehenden Menschen, wenn dies an's Ufer stößt. — Wirkung der in der Metallurgie zur Aufbereitung der Erze d. i. Scheidung des tauben Gesteins von den Erzen angewendeten Stoßherde). Das Beharrungsvermögen ist auch die Ursache der Unmöglichkeit, am Fuße eines Berges, über den man herabläuft, plötzlich stillstehen zu bleiben u. s. w.

7. Theilbarkeit. Alle Körper lassen sich in kleinere Theile theilen, d. h. besitzen die Eigenschaft der Theilbarkeit. Geschieht diese Theilung durch mechanische Mittel (Zerschneiden, Zerbrechen, Zerstoßen u. s. w.), so heißt sie eine mechanische, und diese läßt sich unter Anwendung der erforderlichen Gewalt und Werkzeuge bis zu den kleinsten Theilchen, die durch unsere Sinne noch wahrnehmbar sind, fortsetzen. Wie außerordentlich weit sie gehe, sieht man aus Folgendem: Frei an der Luft liegender Moschus erfüllt, ohne am Gewicht merklich zu verlieren, einen großen Raum mit Geruch: es müssen demnach in alle Theile dieses ganzen Raumes Moschustheilchen übergegangen sein, die noch auf den Geruchsinn zu wirken vermögen, und diese Theilchen müssen, da sie alle zusammen noch nicht etwas durch das Gewicht Bestimmbares ausmachen, unendlich klein sein. Ein Gran Moschus kann 20 Jahre lang einen bedeutenden Raum mit merklichem Geruch erfüllen, wenn darin auch täglich die Luft erneuert, d. h. die vorhandene Luft mit den in ihr vertheilten Moschustheilchen entfernt und durch frische, noch keine Moschustheilchen enthaltende Luft ersetzt wird. — Ein Gran Karmin färbt 20 Pfd. Wasser noch merklich roth, d. h. diese geringe Menge Karmin wird in der großen Wassermenge so vertheilt, daß auf jedes Wassertheilchen ein Theilchen Karmin kommt. Dem Moschus und dem Karmin mehr oder weniger ähnlich verhalten sich in Bezug auf Theilbarkeit auch die übrigen riechenden und färbenden Stoffe.

Andere Beispiele außerordentlich weit gehender Theilbarkeit sind: Das Gold läßt, wenn man damit auf dem Probirsteine einen Strich macht, darauf Theilchen zurück, die sich nur sehen, durchaus aber nicht durch den Tastsinn wahrnehmen lassen; — Kupfer und andere Metalle werden durch die Feile in die kleinsten Theile getheilt, und durch Zerreiben in eigenen Reibmaschinen in äußerst feine, kaum fühlbare Pulver verwandelt, die man zum Bronziren, d. i. um nicht metallischen Stoffen, wie Holz, Gyps u. dgl., ein metallisches Aussehen zu geben, verwendet; — Schmirgel, Polirroth und andere Polirmittel lassen sich durch Zerreiben und Schlemmen, und selbst der härteste aller Körper, der Diamant, läßt sich in Körnchen von so außerordentlicher Kleinheit zertheilen, daß die Risse, welche diese Körnchen bei der Operation des Schleifens und Polirens auf den geschliffenen und polirten Oberflächen z. B. des Stahles, des Glases, der Edelsteine u. s. w., zurücklassen müssen, von dem schärfsten Auge und dem geübtesten Tastsinne nicht wahrgenommen werden können. In Wasser, Essig und vielen anderen Substanzen, wenn sie längere Zeit der Luft ausgesetzt gewesen, sehen wir, aber nur mittelst der besten Mikroskope, Thierchen (Infusionsthierchen, Infusorien), wovon, nach Leuvenhoek, manche 1000 Millionen Mal kleiner sind, als ein Sandkorn, und diese Thierchen müssen, da sie leben und sich nicht selten auf das Lebhafteste bewegen, Glieder, Muskeln, Ernährungswerkzeuge u. s. w. besitzen. Die zahlreichen Kügelchen, die uns das Mikroskop in einem Tropfen Blutes zeigt (§. 2), haben bei den verschiedenen Thieren einen Durchmesser von 0,0036—0,0013 Wien. Linien. Die feinsten Coconfäden, welche weniger als $^1/_{200}$ Durchmesser haben, erscheinen unter dem Mikroskope deutlich aus unzähligen Theilen zusammengesetzt, und ebenso auch die außerordentlich feinen Haare des Maulwurfs, des Bibers u. s. w.

8. Molecularkräfte. Ueber die Grenzen der sinnlichen Wahrnehmung hinaus läßt sich die Zertheilung der Körper jedoch nicht treiben, und deßwegen

kann die Frage, ob die mechanische Theilbarkeit der Materie überhaupt eine Grenze habe, oder ob wir vielleicht mit der Theilung der Materie zu immer kleineren und kleineren Theilen ins Unbegrenzte und ohne Ende fortfahren könnten, wenn uns nur Sinneswerkzeuge und Instrumente von dem dazu gehörigen Grad der Vollkommenheit zu Gebote stünden, auf physikalischem, d. i. auf dem Erfahrungs-Wege mit Bestimmtheit nicht beantwortet werden: jede Antwort, welche die Physik auf diese Frage geben kann, ist nur eine Hypothese. Am meisten Uebereinstimmung mit den Ergebnissen der Erfahrung und mit den bis jetzt bekannten Wirkungen der Naturkräfte gewährt aber die Annahme, daß die mechanische Theilbarkeit der Materie eine Grenze habe, und daß, wenn die Theilung bis zu dieser Grenze wirklich fortgesetzt werden könnte, man zuletzt auf Theilchen kommen würde, die sich mechanisch nicht mehr weiter zerlegen lassen, und deren Substanz (innere materielle Beschaffenheit), Gestalt und Größe als etwas ursprünglich Gegebenes zu betrachten ist. Man nennt solche kleinste Körpertheilchen Atome, und denkt sich einen gleichartigen Körper durch Nebeneinanderlagerung lauter gleichartiger Atome und Verbindung derselben vermittelst zweier Kräfte, einer Anziehungs- und einer Abstoßungskraft, gebildet, wovon die erstere die Atome beständig einander zu nähern und in Verbindung zu erhalten sucht, während die letztere die Atome stets von einander zu entfernen strebt, die Anziehungskraft in ihrer Wirkung beschränkt, die unmittelbare Berührung der Atome verhindert und diese in einer bestimmten Entfernung von einander erhält. Die Anziehungskraft betrachtet man als etwas der Materie Eigenthümliches, dieselbe stets Begleitendes (ohne jedoch damit sagen zu wollen, daß Materie ohne Anziehungskraft nicht bestehen könne); die Abstoßungskraft hingegen ist höchst wahrscheinlich keine Eigenthümlichkeit der Materie, sondern nur eine Aeußerung dessen, was man als Ursache der Wärmeerscheinungen ansieht und mit dem Worte Wärme bezeichnet. Ueber die Wärme und ihre Wirkungen kann erst in der Folge gehandelt werden. Körpertheilchen, die zwar noch theilbar, aber schon so klein gedacht werden, daß sie wegen ihrer Kleinheit einzeln nicht mehr sinnlich wahrnehmbar sind, pflegt man Molekel (molécules) oder Massetheilchen zu nennen. Durch Nebeneinanderlagerung und Verbindung von Atomen werden daher zunächst Molekel (Atomengruppen) und durch Nebeneinderlagerung und Verbindung von Molekeln werden erst Körper gebildet. Die nämliche Anziehungs- und Abstoßungskraft, welche zwischen einzelnen Atomen wirksam angenommen wird, muß natürlich auch zwischen den Atomengruppen oder Molekeln thätig sein und dieselbe Wirkung auf sie äußern, wie auf die Atome; man pflegt deswegen diese Kräfte auch Molecularkräfte zu nennen. Indem die Molecularkräfte gleichzeitig wirken und sich gegenseitig bekämpfen, erhalten die kleinsten Körpertheilchen eine bestimmte Anordnung und Verbindung nebeneinander, und so entstehen Körper. Die Art dieser Anordnung und Verbindung der Körpertheilchen zu einem Ganzen bestimmt das, was man Aggregationszustand (Aggregationsform) der Körper nennt, von welchem an einem andern Orte dieses Buches weiter die Rede sein wird. Die Annahme beider Kräfte ist, wie die Folge zeigen wird, durch die Erscheinungen in der Körperwelt geboten.

9. Chemische Anziehung. Die mechanisch nicht mehr theilbaren Atome der Körper können jedoch meistens noch chemisch weiter zertheilt, d. h. durch die Wirkung eigenthümlicher, sogenannter chemischer Kräfte noch in Theile zerlegt werden, welche rücksichtlich ihrer Substanz (materiellen Beschaffenheit) sowohl untereinander, als von dem ganzen Körper, dessen letzte Bestandtheile sie bilden, verschieden sind. Die Theilbarkeit der Materie durch chemische Kräfte, d. i. die chemische Theilbarkeit, geht demnach noch weiter, als die mechanische Theilbarkeit. Nur bei wenigen der bekannten Körper — man zählt deren im Ganzen 61 —

wollte eine solche chemische Zerlegung in ungleichartige Bestandtheile nicht gelingen, und man betrachtet diese Körper demnach als einfache Stoffe, im Gegensatze zu allen übrigen Körpern, welche zusammengesetzte Stoffe genannt werden. Die kleinsten weder mechanisch noch chemisch weiter zerlegbaren Körpertheile heißen einfache Atome, und jedes kleinste, zwar nicht mehr mechanisch, wohl aber noch chemisch zerlegbare Theilchen wird ein zusammengesetztes Atom oder auch eine chemische Verbindung genannt. Ein einfacher Stoff oder Körper ist demnach durch Nebeneinanderlagerung (Aggregirung) und Verbindung einfacher gleichartiger Atome und ein zusammengesetzter Stoff oder Körper ist durch Nebeneinanderlagerung und Verbindung zusammengesetzter Atome gebildet anzusehen. Jeder zusammengesetzte Körper ist natürlich auch eine chemische Verbindung. Von den einfachen Atomen muß angenommen werden, daß ihre Größe, ihre Gestalt und ihre substantielle Beschaffenheit ursprünglich gegeben und unveränderlich, und bei den verschiedenen einfachen Stoffen verschieden sei; wenigstens kann man sich nur unter dieser Voraussetzung gewisse Erscheinungen, z. B. warum durch einen feinen Riß eines Glas- oder andern Behältnisses wohl Wasserstoffgas, nicht aber atmosphärische Luft und noch weniger Weingeist entweichen kann, in naturgemäßer Weise erklären. Die Kraft, welche ungleichartige einfache Atome zu gleichartig erscheinenden, zusammengesetzten Atomen vereinigt, und deren Wirkung nur in einer gegenseitigen Anziehung dieser einfachen Atome bestehen kann, wird chemische Anziehung, chemische Verwandtschaft oder Affinität genannt, und in der Thätigkeit dieser nach eigenthümlichen (den sogenannten chemischen Gesetzen) wirkenden Kraft liegt der letzte Grund einer jeden chemischen Verbindung. Das Nähere über das Wesen und die Gesetzmäßigkeit der chemischen Anziehung oder Verwandtschaft, so wie über die von ihrer Wirkung abhängigen Erscheinungen gehört in das Gebiet der Chemie und muß dort gesucht werden. Der Inhalt der vorstehenden zwei Paragraphe macht in seiner Wesenheit die Grundzüge der sogenannten atomistischen Theorie aus, welche, wie schon früher bemerkt worden, mit den physikalischen, vorzüglich aber mit den chemischen Erscheinungen in der Körperwelt am besten in Uebereinstimmung steht, weswegen sie auch die meisten und geachtetsten Physiker und Chemiker als Anhänger zählt.

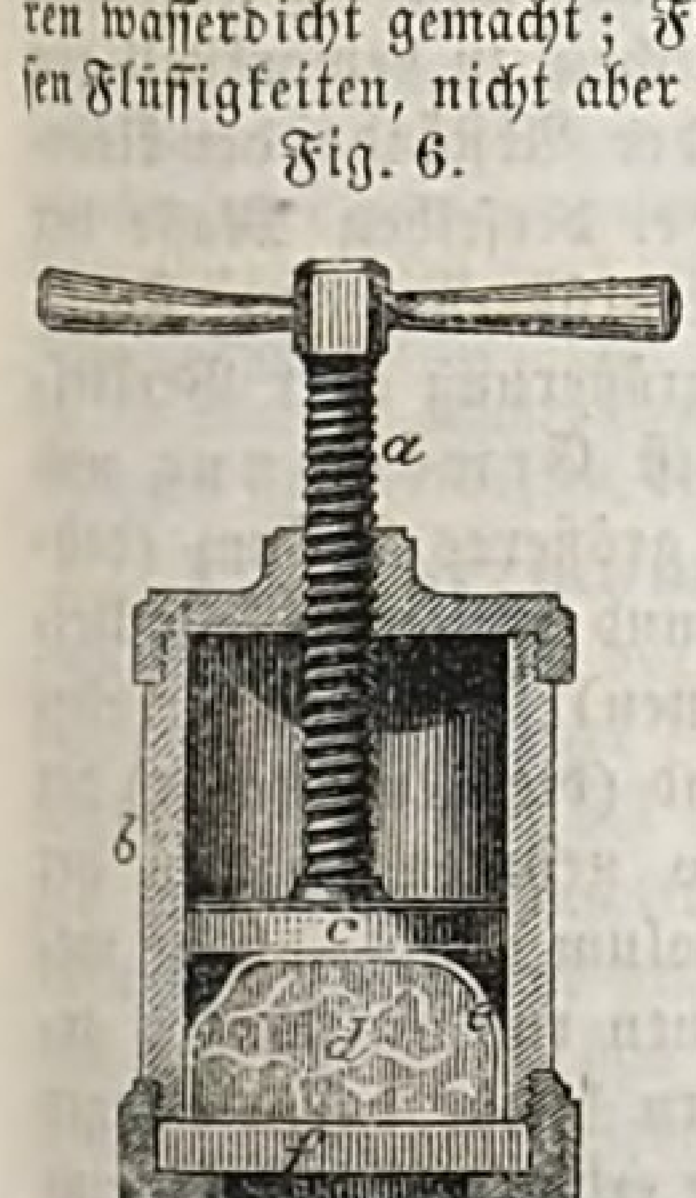
10. Porosität. Die Materie, woraus ein Körper besteht, erfüllt nicht alle Theile des Volums, das der Körper einnimmt, sondern viele Volumtheile enthalten diese Materie nicht und können daher von Materie anderer Beschaffenheit eingenommen werden. Diese, die eigenthümliche Substanz des Körpers nicht enthaltenden Volumtheile nennt man Poren, und die an allen Körpern vorfindliche Eigenschaft, solche Poren zu besitzen, Porosität. Diese Eigenschaft findet in der Annahme ihre Erklärung, daß die kleinsten Theilchen, durch deren Nebeneinanderlagerung und Verbindung die Körper gebildet gedacht werden, sich nicht berühren, sondern durch die Abstoßungskraft von einander entfernt gehalten werden. Ohne Abstoßungskraft gäbe es daher keine Porosität. In der verschiedenen Größe und Anzahl der Poren liegt in vielen Fällen der Grund, warum die Körper bei gleichem Volum eine verschiedentlich große Masse (Menge von Materie) enthalten. Das Verhältniß der Masse eines Körpers zu seinem Volum bestimmt das, was man seine Dichte nennt. Die Dichte eines Körpers ist aber desto größer (oder der Körper heißt desto dichter), je größer bei einem bestimmten Volum die Masse oder je kleiner bei einer bestimmten Masse das Volum ist. Da, vorläufig bemerkt, die Größe der Masse durch das Gewicht bestimmt wird und diesem direct proportionirt ist, so hat von zwei oder mehreren bestimmten, gleich voluminösen Körpern jener eine größere Dichte, welcher ein größeres Gewicht hat, und die Dichten aller dieser Körper stehen in dem nämlichen Verhältnisse, wie ihre Gewichte. Würde ein

Wasserkörper von irgend einer Größe z. B. 3 Pfund wägen, und hätten mit diesem Wasserkörper ganz gleich große Körper von Eisen, Silber, Korkholz, Quecksilber u. s. w. die Gewichte 24 Pfund, 30 Pfund, $^3/_4$ Pfund, 42 Pfund u. s. w., so stünden die Dichten des Wassers, des Eisens, des Silbers, des Korkholzes, des Quecksilbers u. s. w. in den Verhältnissen $3:24:30:{}^3/_4:42$ u. s. w. Nimmt man jetzt die Dichte des Wassers als Einheit an, um damit die Dichten des Eisens, des Silbers, des Korkholzes, des Quecksilbers ꝛc. zu messen, d. h. durch Zahlen auszudrücken, welche anzeigen, wie viel Mal die Einheit (die Dichte des Wassers) in den Dichten der übrigen Körper enthalten ist, so findet man die Dichte des Eisens $= 8$, des Silbers $= 10$, des Korkholzes $= {}^1/_4$, des Quecksilbers $= 14$ u. s. w., und in diesem Sinne wird auch das Wort Dichte in der Wissenschaft und in der Praxis immer genommen, d. h. man hat sich unter Dichte eines bestimmten Körpers immer eine unbenannte Zahl zu denken, welche anzeigt, wie viel Mal mehr oder weniger Masse (Gewicht) dieser bestimmte Körper hat, als ein ganz gleich großer Wasserkörper. (Die Nothwendigkeit, immer ganz reines Wasser von bestimmter Temperatur als Einheit zum Messen der Dichten zu wählen, wird in der Folge klar werden.)

Bei sehr vielen Körpern (Badeschwamm, Korkholz, Bimsstein u. s. w.) sieht man die Poren schon mit freiem Auge, bei andern (thierischen Häuten, dichten Hölzern ꝛc.) nur mit dem Vergrößerungsglase, und bei noch andern Körpern (z. B. beim Wasser) gelingt die Auffindung von Poren weder dem freien noch dem bewaffneten Auge; anderweitiges Verhalten dieser Körper berechtigt aber, auf das nothwendige Vorhandensein solcher Poren in denselben zu schließen. Da sich aus dem Wasser, wenn man es erwärmt, Luft entwickelt, so muß dasselbe, da die Luft darin wegen der Undurchdringlichkeit der Materie doch nur in von der Materie des Wassers nicht erfüllten Volumtheilen enthalten gewesen sein konnte, porös sein.

Folgende Erscheinungen finden ebenfalls in der Porosität der Körper ihre Erklärung: Steine, die längere Zeit im Wasser gelegen sind, zeigen sich oft durch und durch naß. Der Hydrophan, ein dem Kieselgeschlechte angehöriger, kaum durchscheinender Stein, wird, in's Wasser gelegt, durchsichtig wie Glas (indem die in seinen Poren enthaltene Luft, welche man in Blasen entweichen sieht, durch Wasser ersetzt wird). In Höhlen und Grotten sieht man das Wasser aus den dichtesten Steinwänden hervordringen. Beim Gerben zum Behufe der Erzeugung von Leder dringt der Gerbestoff zu den innersten Fasern der thierischen Häute und verbindet sich mit denselben; um Hölzer (Bauhölzer) gegen das Eindringen des Wassers und gegen die Fäulniß zu verwahren, werden sie mit Theer und mit fäulnißwidrigen Substanzen imprägnirt (Petrificiren, Kyanisiren des Holzes); bei den versteinerten Thier- und Pflanzenkörpern mußte die petrificirende Masse die ganzen Körper und alle ihre Fasern durchdringen; der Champagner und die Säuerlinge enthalten große Mengen Kohlensäure; irdene Gefäße werden durch Glasiren wasserdicht gemacht; Fließpapier, Sand, Glaspulver und andere stark poröse Körper lassen Flüssigkeiten, nicht aber Theilchen fester Körper, durch, und werden somit als Filter gebraucht. Gewebe, Hölzer u. s. w. lassen sich durch und durch färben (mit Farbestoff imprägniren), und dämpfen (von Dampf durchdringen); durch die Wände eiserner und kupferner Dampfkessel dringt, ohne daß sie Risse oder schadhafte Stellen besitzen, Dampf und auch Wasser, und durch den Preßcylinder von Gußeisen und Kanonenmetall an hydraulischen Pressen tritt (nach Maudlay's und Farey's Beobachtung) das Wasser in den feinsten Tröpfchen hervor; durch das compacteste Holz, wenn man es als dünne Scheiben in eine passende Presse einspannt, kann man Quecksilber pressen und dieses hiedurch von Staub und anderen beigemengten Unreinigkeiten reinigen. Man bedient sich dazu am besten der durch Fig. 6 im Durchschnitte anschaulich gemachten Presse von Eisen oder Holz. Wird die Schraube a in den Cylinder b hineingedreht, so drückt der Stempel c das Quecksilber d aus dem Leder- oder Kautschuk-Sacke e durch die Holzscheibe f. — Glüht man Eisen, in Holzkohlenpulver eingehüllt, lange genug und heftig, so wird es vom Kohlenstoffe ganz durchdrungen und in

Fig. 6.



Stahl umgewandelt. — Kohlen glühen, in einem Aschenhaufen vergraben, fort, es muß daher Luft zu ihnen gelangen; 1 Maß Alkohol oder Schwefelsäure und 1 Maß Wasser geben, zusammengegossen, weniger als 2 Maß Flüssigkeit, weil die eine Flüssigkeit in die Poren der andern eindringt. Füllt man nämlich ein enghalsiges Fläschchen zur Hälfte mit Wasser und hierauf ganz voll mit gefärbtem Weingeist, aber so behutsam, daß dabei keine Mischung des letzteren mit dem Wasser stattfindet; schließt dann das Fläschen flüssigkeitsdicht und kehrt es nun um, so daß sich Weingeist und Wasser mischen, so erscheint nachher das Fläschchen nicht mehr ganz voll u. s. w.

11. Zusammendrückbarkeit und Ausdehnbarkeit sind die allen Körpern zukommenden Eigenschaften, sich bei unveränderter Masse in ein kleineres Volum zusammendrücken und in ein größeres Volum ausdehnen zu lassen. Ein Stück Badeschwamm läßt sich auf $^1/_{10}$ seines ursprünglichen Volums zusammendrücken; Metallmassen werden unter dem Hammer dichter und nehmen einen kleineren Raum ein. — Luft läßt sich in einem einerseits geschlossenen Cylinder, in den ein Kolben luftdicht hineinpaßt, vermittelst dieses blos durch die Kraft der Hand leicht auf $^1/_5$ oder $^1/_6$ ihres vorigen Volums zusammendrücken; — Papier, Holz, Gewebe u. s. w. lassen sich bedeutend zusammenpressen und verlieren dabei, wenn sie Flüssigkeiten eingesogen enthalten, diese Flüssigkeiten, worauf sich das Ausringen nasser Stoffe, das Auspressen der Oele aus den betreffenden Samen und viele andere in den Gewerben übliche Operationen gründen. — Das Prägen der Münzen oder Medaillen, die Fabrikation des gepreßten Papieres, Leders u. s. f. beruht ebenfalls auf der Zusammendrückbarkeit. Eine am oberen Ende befestigte Metallstange erhält, wenn sie am unteren Ende belastet wird, ein größeres Volum, denn sie wird in einem größeren Verhältnisse länger als dünner. Trockenes Holz, getrockneter Thon, frisch ausgeglühter Gyps rc. saugen beträchtliche Mengen Wassers ein und nehmen dadurch an Umfang bedeutend zu; nasses Holz, nasser Thon schwindet (verliert an Umfang) beim Trocknen u. s. w. Die Zusammendrückbarkeit findet ihre Erklärung in der Porosität und in der Annahme, daß die kleinsten Körpertheilchen in Folge der zwischen denselben thätigen Abstoßungskraft (§. 8) nicht in unmittelbarer Berührung stehen, sondern in gewissen Abständen von einander angeordnet sind. Es muß demnach Zusammendrückung oder überhaupt Verkleinerung des Volums eines Körpers durch alles bewirkt werden, was eine Verkleinerung der Poren und eine Verminderung der gegenseitigen Abstände der kleinsten Körpertheilchen zu bewerkstelligen vermag. Vergrößerung der Poren und der Abstände der kleinsten Körpertheilchen von einander hat bei derselben Masse der Körper eine Ausdehnung oder Volumsvergrößerung zur Folge. Das wirksamste Mittel, eine solche Vergrößerung oder Verkleinerung des Volums zu bewerkstelligen, ist Erwärmung und Erkaltung. Alle Körper erhalten ein größeres Volum (dehnen sich aus), wenn man sie erwärmt und treten in ein kleineres Volum zurück (ziehen sich zusammen), wenn sie erkaltet werden . . . (†). Kehrt der Wärmezustand (die Temperatur) der Körper zu dem vorigen Grad zurück; so nehmen diese in der Regel auch wieder genau ihr voriges Volum ein. — Eine messene Kugel a (Fig. 7), die im kalten Zustande durch einen runden Reif b genau hindurchgeht, kann diesen nicht mehr passiren, sondern bleibt darin hängen (wie in Fig. 7 durch Punctirung angedeutet ist), sobald sie erhitzt wird, und eine

Fig. 7.

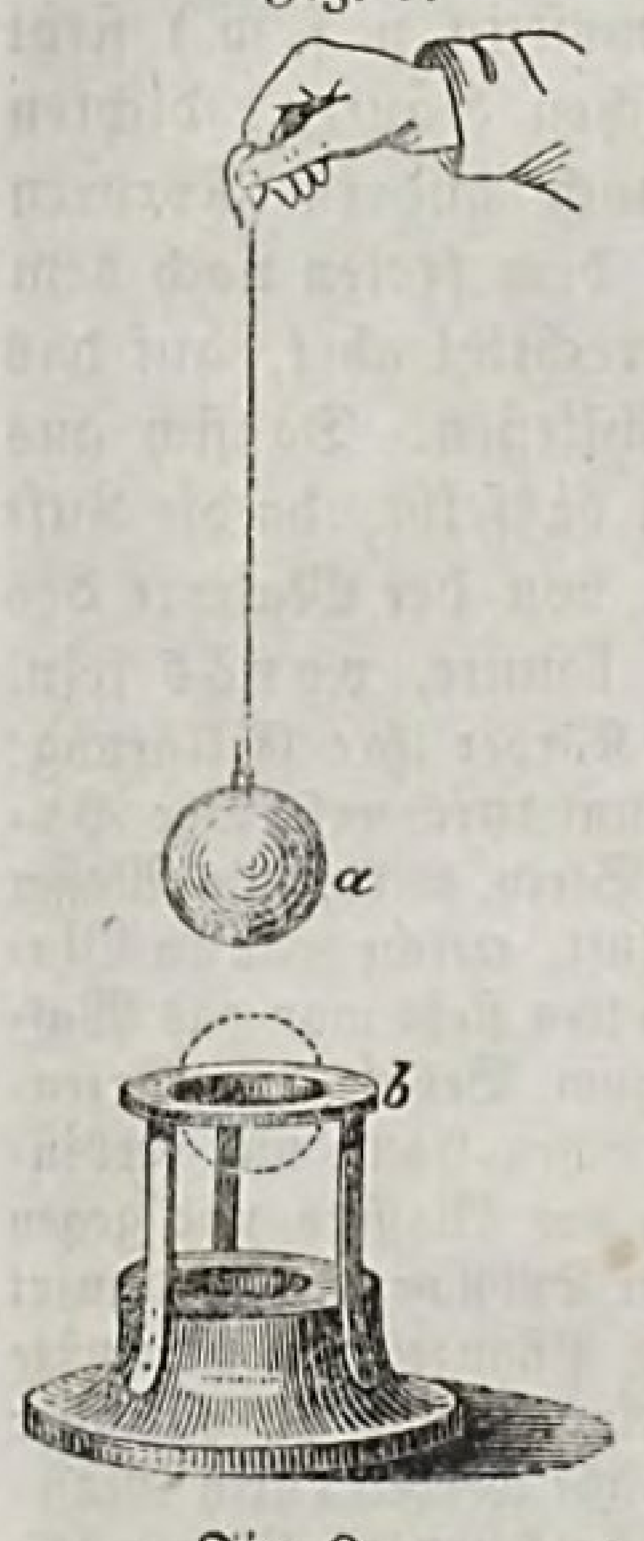
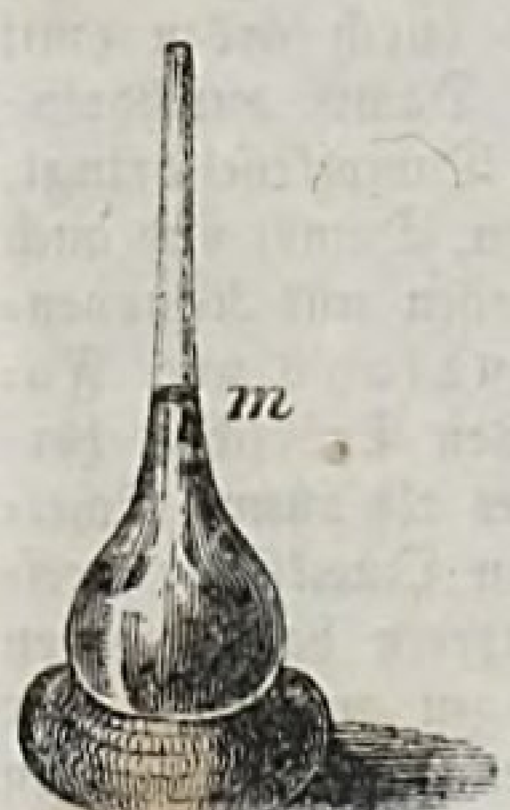


Fig. 8.



Kugel, die etwas weniges größer ist als der Reif und daher durch diesen nicht durchgeht, passirt denselben, wenn man ihn erwärmt und dadurch weiter macht. — In einem gläsernen Gefäß, das mit einem engen Halse endigt (Fig. 8), sieht man eine Flüssigkeit (z. B. gefärbten Weingeist), die das Gefäß und den Hals bis zu einer Marke m erfüllt, beträchtlich über diese Marke hinaufsteigen oder unter dieselbe herabfallen, je nachdem die Flüssigkeit im Gefäße (z. B. durch Uebertragen desselben aus einem kälteren Locale in ein wärmeres oder umgekehrt) erwärmt oder erkaltet wird. Die Luft, welche in dem Raume ab (Fig. 9) durch

Fig. 9.



die bis b reichende Flüssigkeit in der Flasche abgesperrt ist, nimmt, wie man aus dem Sinken oder Steigen der Flüssigkeit bei b erkennt, einen bedeutend größeren oder kleineren Raum ein, wenn sie auch nur mäßig (z. B. durch Berühren der Kugel a mit der warmen oder mit der durch Eintauchen in kaltes Wasser kälter gemachten Hand) erwärmt oder abgekühlt wird. In beiden letzteren Beispielen erfährt nicht nur der Weingeist und die Luft die erwähnte Ausdehnung und Zusammenziehung, sondern gleichzeitig auch das Materiale der diese Flüssigkeiten einschließenden Gefäße, aber n einem bei weitem geringeren, nicht bemerkbaren Grade. — Wie das Eisen, der Weingeist und die Luft in den angeführten Beispielen, verhalten sich bei Erwärmung und Erkaltung alle Körper. Wenn Thon, Holz, Leder u. s. w. bei Erwärmung sich zusammenziehen (Schwinden thönerner und porzellanener Gefäße beim Brennen), so bildet das keine Ausnahme von dem unter (†) ausgesprochenen Gesetze, sondern hat seinen Grund in einer durch die Erwärmung bewirkten Verflüchtigung oder Zerstörung fremder Stoffe, welche durch ihre Anwesenheit in den Poren dieser Körper eine größere gegenseitige Annäherung der Massetheilchen dieser letzteren verhinderten, oder aber in einer durch die Erwärmung veranlaßten innigeren chemischen Verbindung der Bestandtheile dieser Körper (wie dies beim Thon der Fall ist, dessen Bestandtheile, die Thon- und Kieselerde, sich in der Hitze inniger vereinigen).

Eine gehörige Berücksichtigung der Volumsveränderung der Körper in der Wärme ist in vielen Fällen sehr nützlich und nothwendig. Metallene Ringe oder Reife werden im heißen Zustande auf hölzerne Wellen, auf die Nabe oder den Kranz eines Rades u. dgl. aufgeschlagen, damit die bei ihrem Erkalten stattfindende Zusammenziehung sie auf dem Holze fester haften mache; beim Schmieden eiserner und ebenso beim Gießen metallener Gegenstände muß auf das Zusammenziehen beim Erkalten Rücksicht genommen werden, widrigenfalls sie zu klein ausfallen. Ein Glaspfropf oder ein massiver metallener Cylinder, welche in einem Flaschenhalse oder in einem hohlen Cylinder so fest stecken, daß man sie nicht herausbringen kann, gehen leicht heraus, wenn man den Flaschenhals oder den hohlen Cylinder durch Erwärmen erweitert. Molard hat (am Conservatorium der Künste und Gewerbe zu Paris) Mauern, die auseinder gewichen waren, dadurch einander wieder genähert, daß er durch dieselben eiserne Stangen zog, diese stark erhitzte, dann, so lange die Stangen noch heiß waren, ihre Enden durch Querstangen steckte, diese mittelst auf die Enden der Längenstangen aufgesetzter Muttern dicht an die Mauern anschraubte und dann die Längenstangen erkalten ließ. Die Gewalt, womit diese Stangen sich verkürzten, brachte die gewichene Mauer bald wieder in ihre vorige Stellung.

12. Thermometer. Die durch Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur bewirkte Zu- oder Abnahme des Volums beträgt nach dem Zeugnisse der Erfahrung in der Regel desto mehr, je stärker die Temperatur erhöht oder erniedrigt wird, so daß man bei gewissen Körpern und innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen von der beobachteten Größe der Volums-Vermehrung und Volums-Verminderung des Körpers auf die Temperatur-Zunahme und Temperatur-Abnahme schließen und letztere Größe (die Zu- und Abnahme der Temperatur) der ersteren (der Vermehrung und Verminderung des Volumens) direct proportional setzen kann. Instrumente, mittelst welcher sich die Zu- und Abnahme der Temperatur nach der

durch diese bewirkten Ausdehnung und Zusammenziehung einer passenden Substanz messen läßt, heißen Thermometer. Die detaillirte Betrachtung und Würdigung dieser Instrumente muß man in der Wärmelehre suchen, wohin sie auch schon aus dem Grunde verlegt wurde, weil sie, um gehörig und ohne weitläufige Erklärungen verstanden zu werden, physikalische Kenntnisse voraussetzt, die wir uns erst in folgenden Capiteln dieses Buches erwerben werden. Da aber lange, bevor noch die Wärmelehre an die Reihe kommen kann, häufig von Thermometern und ihren Anzeigen wird geredet werden müssen, so soll hier nur eine ganz kurze Beschreibung der Einrichtung und des Gebrauches des Quecksilber- und des Weingeist-Thermometers Platz finden, womit wir vorläufig ausreichen.

Fig. 10.

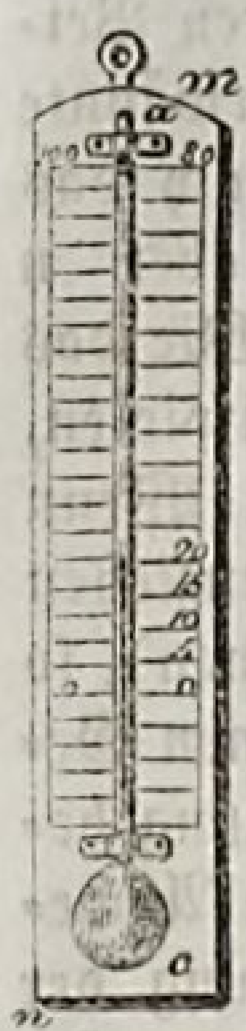
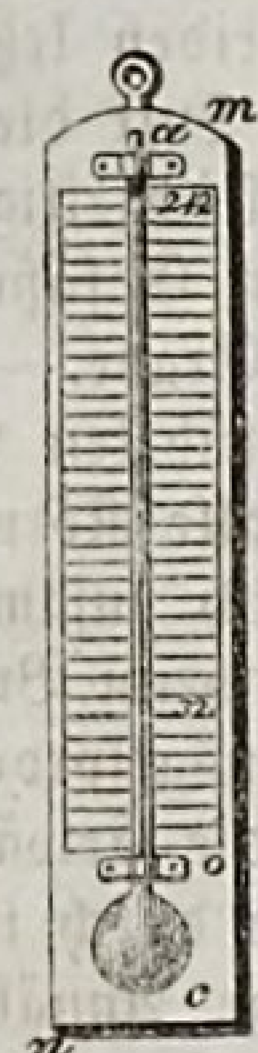


Fig. 11.



Das Quecksilberthermometer (Fig. 10 und 11) besteht aus einer gläsernen, engen, wohl calibrirten Röhre ac, die an einem Ende (c) eine ihrer Weite angemessene Kugel angeblasen hat. Die Kugel ist ganz und die Röhre in der Regel so weit mit reinem wohlausgetrocknetem und von Luft befreitem Quecksilber gefüllt, daß bei mittlerer Lufttemperatur das Quecksilber bis ungefähr in die Mitte der Röhre reicht. Diese ist am zweiten Ende a verschlossen (zugeschmolzen) und ihre Höhlung von der Quecksilber-Oberfläche bis an dieses verschlossene Ende luftleer gemacht. An der Röhre sind zwei fixe Punkte bezeichnet, der Aufthauungs- oder Eispunkt und Siedpunkt; ersterer wird dadurch bestimmt, daß man die Kugel sammt Röhre (so weit darin das Quecksilber reicht) in reines, zerstoßenes und aufthauendes Eis oder in reinen, eben im Schmelzen begriffenen Schnee senkt, so lange darin beläßt, als die Quecksilbersäule in der Röhre sich zu Folge der Erkaltung noch zusammenzieht (verkürzt) und dann den Punkt, wo das Ende der Quecksilbersäule steht, am Glase bemerkt; letzterer (der Siedpunkt) wird bestimmt, indem man die Röhre sammt Kugel in, durch Destilliren *) wohlgereinigtes siedendes Wasser taucht und an der Röhre wieder den Punkt markirt, wo das Ende der allmälig immer länger werdenden Quecksilbersäule endlich unverrückt stehen bleibt. Der Abstand des Sied- und Eispunktes von einander heißt Fundamentalabstand des Thermometers und ist in eine gewisse Anzahl gleicher Theile getheilt, die man Thermometergrade nennt. Es sind vorzüglich drei verschiedene Unterabtheilungen des Fundamentalabstandes (d. i. drei Thermometer-Scalen) gebräuchlich und zwar die Scale nach Réaumur, wo der Fundamentalabstand in 80, die Scale nach Celsius, wo er in 100, und die Scale nach Fahrenheit, wo er 180 gleiche Theile getheilt ist. An der Réaumur'schen (oder 80theiligen) Scale, die vorzüglich in ganz Deutschland angewendet wird, ist der Eispunkt mit 0 (Null), und der Siedpunkt mit 80, an der in ganz Frankreich üblichen Celsius'schen (oder 100theiligen) Scale ist der Eispunkt mit 0 und der Siedpunkt mit 100 bezeichnet, und an den in Holland, England und Amerika gebräuchlichen Fahrenheit'schen (180theiligen) Thermometern steht beim Eispunkt 32 und beim Siedpunkt $180 + 32 = 212$. Die Grad-Theilstriche sind entweder mittelst einer Diamantfeder (eines in einer Fassung befestigten Diamantsplitters) auf der Thermometerröhre selbst eingerissen, oder (was häufiger der Fall ist) auf einem Streifen (mn) von Metall, Glas oder Holz, worauf die Thermo-

---

*) Wasser destilliren heißt, dasselbe durch Hitze in Dampf verwandeln und diesen Dampf durch Abkühlung wieder zu Wasser machen. Da sich nur allein das reine Wasser in Dampf auflösen kann, und dieser alle im Wasser enthaltenen Unreinigkeiten zurückläßt, so entsteht aus demselben durch Abkühlung ganz reines Wasser.

meterröhre sich unverrückbar festgemacht befindet, verzeichnet. Die Theile des Fundamentalabstandes werden auch noch unterhalb des Eispunktes, manchmal auch über den Siedpunkt hinauf, so oft es angeht, aufgetragen, und man nennt die Grade unter dem Eispunkte Kälte- oder negative Grade, die Grade über dem Eispunkte hingegen Wärme- oder positive Grade. Die Kältegrade bezeichnet man kurz mit dem Zeichen —, die Wärmegrade mit +. Führen die Zahlen, welche die Thermometergrade anzeigen, weder das Zeichen — noch + bei sich, oder wird im Allgemeinen nur von Thermometergraden gesprochen, ohne ausdrücklich zu sagen, ob es positive oder negative Grade sind, so werden damit immer Wärme- oder + Grade gemeint. Die Grade der Réaumur'schen Scale bezeichnet man kurz mit dem Buchstaben **R.**, die Grade der Celsius'schen Scale mit **C.** und die Grade der Fahrenheit'schen Scale mit **F.** So bedeutet der Ausdruck $+15^0$ **R.** (oder blos 15^0 **R.**) 15 Wärmegrade nach Réaumur.

Werden Quecksilberthermometer von der nämlichen Fundamentalabstands-Eintheilung, d. i. lauter Réaumur'sche oder lauter Celsius'sche Thermometer derselben Temperatur ausgesetzt, so muß der Stand des Quecksilbers in allen eine gleiche Anzahl Grade anzeigen, d. h. alle Thermometer müssen genau übereinstimmen; im entgegengesetzten Falle sind sie nicht sorgfältig genug construirt und somit (ausgenommen, wenn die Differenzen in ihren Anzeigen bei allen verschiedenen Temperaturen constante Größen sind, durch deren Addition oder Subtraction man leicht Uebereinstimmung herstellen kann) nicht brauchbar. Thermometer mit verschiedenen Scalen, z. B. ein 80theiliges und ein 100theiliges, können aber, der nämlichen Temperatur ausgesetzt, natürlich nicht eine gleiche Anzahl Thermometergrade zeigen, sondern diese Zahl muß bei demjenigen Thermometer größer sein, dessen Fundamentalabstand (diese bei allen Thermometern ganz durch die nämliche Temperaturveränderung bestimmte Größe) in mehrere Theile getheilt ist, und die Mengen der Thermometergrade, die zwei Thermometer mit verschiedener Scale in derselben Temperatur zeigen, müssen sich direkt verhalten, wie die Mengen der Theile, in welche die Fundamentalabstände dieser zwei Thermometer eingetheilt sind. Diese Proportionalität gestattet eine leichte Verwandlung der Anzahl Grade, welche ein Thermometer mit einer der drei angegebenen Scalen zeigt, in jene Anzahl Grade, welche ein Thermometer mit einer der zwei anderen Scalen in der nämlichen Temperatur angeben müßte, oder mit kürzeren Worten ausgedrückt, diese Proportionalität gestattet eine leichte Verwandlung der Anzahl Grade nach einer Scale in die gleichbedeutende Anzahl Grade nach jeder der zwei anderen Thermometerscalen.

Wollte man z. B. wissen, wie viele Grade nach Celsius 15 Grade nach Réaumur ausmachen, so hat man, wenn die unbekannte Zahl Celsius'scher Grade mit x bezeichnet wird, $15 : x = 80 : 100 = 4 : 5$ und daher $x = \frac{5}{4} \times 15 = 18\frac{3}{4}$. Bedeutet allgemein R eine bestimmte Anzahl Réaumur'scher Grade und C die correspondirende oder gleichbedeutende Anzahl Grade nach Celsius, so ist $R : C = 80 : 100 = 4 : 5$; hieraus

folgt $R = \frac{4}{5}\,C$ und $C = \frac{5}{4}\,R$ . . . (2)

d. h. man verwandelt eine bekannte Anzahl Celsius'scher Grade (C) durch Multiplikation mit $\frac{4}{5}$ in Réaumur'sche, und man erhält aus einer bekannten Zahl Réaumur'sche Grade (R) Celsius'sche Grade, wenn man erstere mit $\frac{5}{4}$ multiplicirt. Je nachdem die zu verwandelnden Grade (C oder R) Wärme- oder Kältegrade sind, ist ihnen das Zeichen + oder — vorzusetzen. So sind -20^0 C $= \frac{4}{5} \times -20 = -16$ Grad nach Réaumur.

Um die Anzahl Grade zu bestimmen, die ein Fahrenheit'sches Thermometer in derselben Temperatur zeigen muß, in welcher ein Réaumur'sches Thermometer z. B. 15, oder ein Celsius'sches z. B. 20 Grade zeigt, hätte man, wenn der Eispunkt des Fahrenheit'schen Thermometers so wie jener des Réaumur'schen und Celsius'schen auch mit 0 (Null) bezeichnet wäre, und man unter dieser Voraussetzung die in Frage stehende Anzahl Grade nach Fahrenheit mit y bezeichnet, einerseits (bei Verwandlung Réaum. Grade in Fahr.)

$15 : y = 80 : 180 = 4 : 9$, also $y = \frac{9}{4} \times 15$ . . . (a)

und andererseits (bei Verw. Celsius'scher Grade in Fahr.)

$20 : y = 100 : 180 = 5 : 9$, mithin $y = \frac{9}{5} \times 20$ . . . (b)

Das Fahrenheit'sche Thermometer sollte demnach zu Folge (a) $^9/_4 \times 15$ Grade zeigen, wenn ein Réaumur'sches 15 Grade angibt, und müßte nach Gleichung (b) $^9/_5 \times 20$ Grade angeben, wenn ein Celsius'sches Thermometer 20 Grade zeigt. Da aber beim Eispunkt der Fahrenheit'schen Scale nicht 0 (Null) wie bei den zwei andern Scalen, sondern schon 32 steht, so muß in jedem der zwei Fälle zu dem für y gefundenen Werth noch 32 addirt werden, so daß im ersten Falle $^9/_4 \times 13 + 32$ . . . (c) und im zweiten $^9/_5 \times 20 \times 23$ . . . (d) die wahre Anzahl der correspondirenden Fahrenheit'schen Grade ist. Bezeichnet man nun allgemein die Anzahl Grade, die ein Réaumur'sches oder ein Celsius'sches Thermometer anzeigt (anstatt mit 15 und 20) mit R und C, und die Anzahl der correspondirenden Fahrenheit'schen mit F, so hat man nach (c) und (d)

$$F = {}^9/_4\, R + 32 \text{ und } F = {}^9/_5\, C + 32 \qquad . . . (3)$$

und aus diesen zwei Gleichungen folgt wieder

$$R = {}^4/_9\, (F - 32) \text{ und } C = {}^5/_9\, (F - 32) \qquad . . . (4)$$

Die Gleichungen (3) dienen zur Umwandlung einer bekannten Anzahl Réaumur'scher und Celsius'scher Grade (R und C) in die correspondirenden Fahrenheit'schen Grade (F) und die Gleichungen (4) zur Umwandlung einer bekannten Anzahl (F) Fahrenheit'scher Grade in die gleichbedeutende Anzahl Réaumur'scher (R) und Celsius'scher (C). Am leichtesten und schnellsten geschehen diese Umwandlungen mittels eigens berechneter Tafeln. Man sehe eine solche Tafel (Tafel IV.) am Schlusse des Buches. Bezüglich der Vorsetzung des Zeichens + oder — vor die zu verwandelnde Gradeanzahl gilt hier natürlich die nämliche Bemerkung, wie vorn bei den Gleichungen (2).

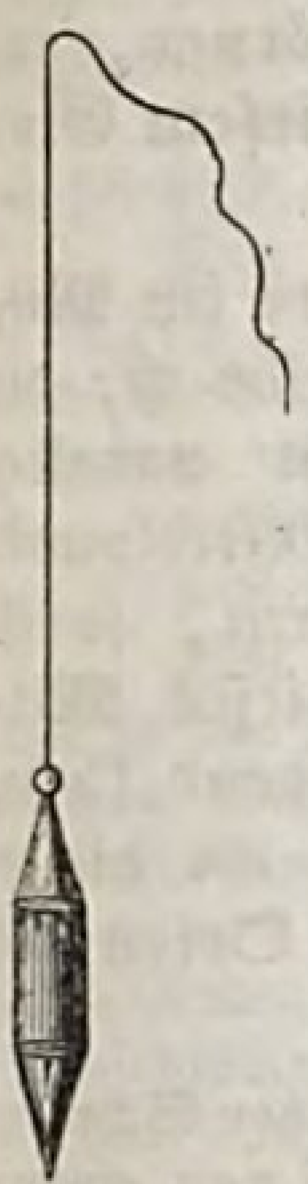
Weingeistthermometer werden ganz so construirt und gebraucht, wie Quecksilberthermometer, nur enthalten sie anstatt Quecksilber gefärbten, möglichst wasserfreien Weingeist (Alkohol). Sie haben vor den Quecksilberthermometern den Vorzug, daß man mittelst derselben (da wasserfreier Alkohol bei keiner noch so niedrigen Temperatur gefriert) die größten Kältegrade messen kann, während die niedrigste Temperatur, die sich mit Hilfe eines Quecksilberthermometers noch in genügender Weise bestimmen läßt, — 28° **R.**, höchstens — 30° **R.** ist, da das Quecksilber bei — 32° **R.** fest wird (gefriert) und schon mehrere Grade früher sich nicht mehr der Temperaturabnahme proportional zusammenzieht. Da bei den Weingeistthermometern die Ausdehnung und Zusammenziehung des in der Röhre eingeschlossenen Weingeistes den Temperaturen nie genau proportionirt ist (was in dem Verfahr n bei Verfertigung der Weingeistthermometer seinen Grund hat), so geben diese Thermometer niemals ganz richtige Anzeigen, und sind daher eigentlich nur in jenen niedrigen Temperaturen anzuwenden, für welche Quecksilberthermometer nicht ausreichen, oder es sind die Grade, die ein Weingeistthermometer angibt, auf die correspondirenden Grade des Quecksilberthermometers, d. i. auf die Grade zurückzuführen, welche unter den nämlichen Umständen ein gutes Quecksilberthermometer zeigen würde, welche Zurückführung mit Hilfe der Tafel **V** am Schlusse des Buches leicht geschehen kann.

13. Schwere. Alle Körper äußern beständig ein Bestreben, sich in bestimmter Richtung gegen die Erde zu bewegen. Sind sie sich selbst überlassen, so fallen sie in dieser Richtung wirklich zur Erde, und werden sie durch eine Unterlage oder dadurch, daß sie an einer Schnur, Stange u. dgl. aufgehängt sind, oder sonst auf eine andere Art am Fallen gehindert, so üben sie in der erwähnten bestimmten Richtung fortwährend auf die Unterlage einen Druck, und auf die Schnur, Stange oder das Hinderniß überhaupt einen Zug aus. Man nennt die Körper deswegen schwer und zählt die Schwere unter die allgemeinen Eigenschaften der Körper, sieht diese Eigenschaft als Wirkung einer anziehenden Kraft an, welche zwischen der Erde und den anderen Körpern thätig ist, und Schwerkraft oder einfach auch Schwere genannt wird. Dem Rauche, den Wolken u. dgl. kann man, weil sie sich in der Luft erheben, d. i. von der Erde weg bewegen, eben so wenig die Schwere absprechen, als man sie einem Stücke Korkholz oder einem Stücke Eisen abspricht, weil ersteres im Wasser, letzteres im Quecksilber in die Höhe steigt.

Die Schwere kommt den Körpern, nicht blos als Ganzes betrachtet, son-

dern sie kommt, wie die Erfahrung lehrt, auch noch den kleinsten Theilchen zu, in die wir die Körper wirklich zertheilen können. Wir schließen hieraus, daß auch die letzten Körpertheilchen, die Atome, noch schwer seien. Die Richtung der Schwere,

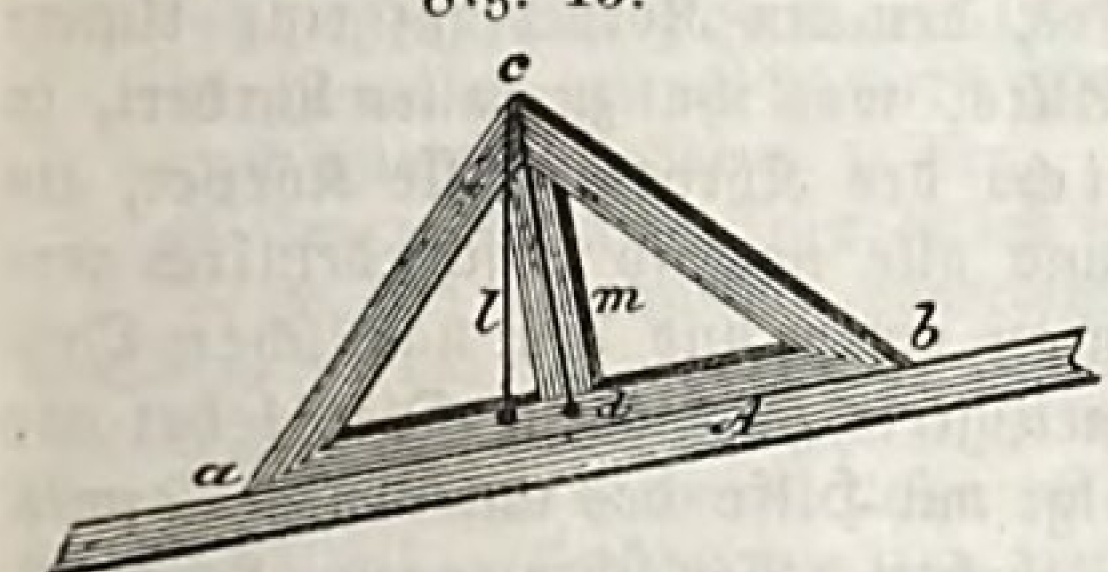
Fig. 12.



d. i. die Richtung, in welcher ein Körper (und auch jeder seiner Theile) frei zur Erde fällt, oder wenigstens zu fallen sucht, ist nach dem Zeugnisse der Erfahrung immer geradlinig und geht, weit genug verlängert gedacht, stets durch den Mittelpunkt der Erde. Sie heißt vertikal, auch senkrecht oder lothrecht, und jede dieser Richtung parallele Linie heißt eine Vertikale, Senkrechte, Lothrechte oder ein Loth. Jede Linie oder Ebene, auf welcher die Richtung der Schwere senkrecht steht, heißt horizontal.

Man bestimmt die Richtung der Schwere am einfachsten mittelst eines biegsamen Fadens, der an einem Ende befestigt ist, und am zweiten Ende einen kleinen, schweren Körper (eine kleine Kugel, einen kleinen, die Spitze nach abwärts kehrenden Kegel u. s. w. von Metall) trägt (Fig. 12). Indem dieser kleine Körper zu fallen sucht, spannt er den biegsamen Faden und bringt ihn in der Richtung, nach welcher er zu fallen sucht, d. i. in der Richtung der Schwere zur Ruhe. Man nennt eine solche Vorrichtung Bleiloth, Senkblei oder Senkel, und macht davon im praktischen Leben mannigfaltige Anwendung, z. B. um zu untersuchen, ob ein Gegenstand eine vertikale Stellung habe, oder um Gegenständen (einer Mauer, Säule, dem Ständer oder anderen Theilen einer Maschine u. s. w.) eine vertikale Richtung zu geben. Alles, was dem Bleilothe parallel ist, ist auch vertikal. Zur Untersuchung, ob eine Linie oder Ebene horizontal sei, oder um eine Linie oder Ebene horizontal zu machen, bedient man sich häufig der sogenannten Schrotwage, die man in Figur 13 abgebildet sieht. abc ist ein

Fig. 13.



dreieckiger hölzener Rahmen, an welchem im Punkte c sich ein Bleiloth l befestigt befindet; von dem Befestigungspunkte c aus ist auf der Leiste m eine Linie oder Furche cd gezogen, die auf der unteren ebenen Fläche der Leiste ab genau senkrecht steht. Ist nun der Faden des frei hängenden Bleilothes der Furche cd parallel, so hat die untere Fläche der Leiste ab eine genau horizontale Lage, und jede Linie, die (wie die Latte A (Fig. 13) mit dieser Fläche zusammenfällt oder ihr parallel ist, ist auch horizontal. Um mittelst der Schrotwage die Horizontalität einer Ebene zu prüfen, muß sie nach zwei auf einander senkrechten Richtungen mit der Fläche ab auf diese Ebene gestellt werden. Ist in beiden Stellungen das Bleiloth der Furche cd parallel, so ist die Ebene horizontal.

14. Horizontalfläche. Da die geradlinigen Richtungen der Schwere verlängert für alle Punkte der Erdoberfläche im Mittelpunkt der Erde zusammentreffen, und da die Erde die Gestalt einer Kugel hat, so fallen die Richtungen der Schwere mit den Halbmessern der Erde zusammen, und stehen wie diese auf der Erdoberfläche senkrecht. Die Erdoberfläche wird deswegen horizontal, Horizontalfläche oder Horizont genannt. Begreiflicher Weise kann hier aber nicht die wirkliche Erdoberfläche mit ihren Bergen und Thälern, sondern nur eine ideale Oberfläche gemeint sein, die man sich folgender Maßen gebildet zu denken hat. Nehmen wir an, der atlantische Ocean, die Südsee und alle unter einander in Verbindung stehenden Meere seien für einen Augenblick in Ruhe, so wird ihr ungeheurer Spiegel (aus Gründen, die wir erst später einsehen können) einen Theil einer Kugeloberfläche darstellen, dessen Gränzen die Ufer bilden. Denken wir uns nun, daß die Theile dieser Kugeloberfläche, ihre Krümmung stets beibehaltend, sich nach allen Richtungen unter und über das Festland hin ausdehnen, bis sie nach allen Seiten sich begegnen, so würde eine vollständige, ununterbrochene Kugeloberfläche ohne alle Berge und Thäler entstehen, und diese zum Theile wirkliche, zum Theile ideale Oberfläche ist es, welche man sich zu denken hat, wenn von der auf den Richtungen der Schwere senkrecht stehenden, d. i. horizontalen Erdoberfläche oder Horizontalfläche die Rede ist. Man pflegt diese ideale Oberfläche auch

Niveau-Fläche oder Meeres-Fläche zu nennen, und meint sie, wenn man z. B. sagt, Wien liege 87 Klafter über der Meeresfläche. Uebrigens kann auch die wirkliche Erdoberfläche als vollkommen kugelförmig betrachtet werden, da die höchsten Berge und tiefsten Thäler der Erde im Verhältniß zur Größe der letzteren nur eben so kleine Hervorragungen und Höhlungen sind, als Sandkörner, auf einem Globus von 3 Fuß Halbmesser ausgestreut, im Verhältniß zu diesem Globus bilden.

Aus dem erwähnten Zusammentreffen aller Richtungen der Schwere im Mittelpunkte der Erde folgt ferner, daß diese Richtungen, oder was dasselbe ist, die Richtungen der Bleilothe an zwei verschiedenen Orten der Erde nicht parallel sind, sondern einen Winkel mit einander bilden, dessen Spitze in den Mittelpunkt der Erde fällt. Sind die zwei Orte aber nicht weit von einander entfernt, so ist der besagte Winkel am Erdmittelpunkte wegen der großen Entfernung dieses Mittelpunktes von der Oberfläche der Erde (860 geog. Meilen) verschwindend klein, und es können die Richtungen der Bleilothe, also auch der Schwere, an diesen zwei (und ebenso an allen andern nicht weit von einander entfernten) Orten als parallel angenommen werden.

Für zwei um 1000 Meter von einander entfernte Orte bilden die Richtungen der Schwere am Erdmittelpunkte einen Winkel von 32″ (32 Sekunden); für zwei um 600 Fuß von einander entfernte Orte beträgt dieser Winkel kaum 6 Sekunden, und bei noch geringeren Entfernungen der Orte wird der besagte Winkel eine völlig verschwindende Größe. Die Bleilothe von Paris und Prag sind nahe $7^1/_2$ Grad gegen einander geneigt.

15. Gewicht. Die Größe des Druckes, den ein Körper auf eine Unterlage, oder die Größe des Zuges, den er auf Alles, was ihn zu fallen hindert, in Folge der Schwere ausübt, heißt das Gewicht des Körpers. Alle Körper, ein Stückchen Papier, ein Stein, eine Bleikugel und alle noch so verschiedentlich großen Stücke eines und desselben Körpers fallen an einem und dem nämlichen Orte der Erde im leeren Raume mit gleicher Schnelligkeit zu Boden. Dies lehrt uns die Erfahrung und wir werden uns in der Folge mit Hilfe des unter dem Namen Luftpumpe bekannten Apparates von der Wahrheit dessen überzeugen. Hiernach muß man schließen, daß die Schwerkraft alle Körper und Körpertheile, also auch alle Atome mit gleicher Beschleunigung gegen die Erde ziehe, und hieraus folgt, wie an einem andern Ort gezeigt werden wird, nothwendig, daß der Druck oder Zug, den ein Körper auf ein seine Bewegung gegen die Erde hemmendes Hinderniß ausübt, d. i. das Gewicht des Körpers, der Menge seiner Materie (seiner Masse) proportional sei . . . (†). Das Gewicht eines Körpers ist daher das wahre Maß seiner Masse. Deswegen bestimmt man auch im gemeinen Leben die Masse der Körper durch ihr Gewicht, und schließt, ein Körper **A** habe eine 2mal, 3mal u. s. w. nmal größere Masse, als ein anderer Körper **B**, wenn das Gewicht des Körpers **A** 2mal, 3mal u. s. w. nmal größer ist, als das Gewicht des Körpers **B**. Die Gewichtsbestimmung geschieht bekanntlich mittelst der Wagen (von deren Einrichtung und Gebrauch erst in der Folge die Rede sein kann), und setzt eine Gewichtseinheit (Pfund, Loth, Gramme u. s. w.) voraus, mit welcher die Gewichte der andern Körper verglichen werden. Zu bequemerer Bestimmung größerer und kleinerer Gewichte dienen größere und kleinere Gewichtseinheiten, welche meistens durch Vervielfachen und Unterabtheilen einer Grundeinheit des Gewichtes gebildet sind, und die so wie diese Grundeinheit selbst in den verschiedenen Ländern wieder eine verschiedene Größe und Benennung haben. In Oesterreich ist die Grundeinheit der Gewichte das Wiener Pfund; 100 solcher Pfunde bilden einen Wien. Centner; das Pfund wird in 32 Loth, 1 Loth weiter in 4 Quentchen und ein Quentchen in 4 Sechzehntel eingetheilt. Das Loth theilt man auch in 240 Gran ein, und 2 Loth machen eine Unze.

In Frankreich gibt es zwei Gewichtssysteme, das alt- und das neufranzösische. Gewichtsangaben nach dem altfranzösischen Systeme, welchem das Pariser Pfund = 16 Onces = 128 Gros = 9216 Grains = 0·8742 Wien. Pfunde zu Grunde liegt, kommen jedoch selten vor, weswegen ein weiteres Detail über dieses System hier übergangen werden kann. Das neufranzösische Gewichtssystem hat das Gramm (Gramme) zur Grundeinheit; es ist dies das Gewicht eines Kubikcentimeters destillirten Wassers von der Temperatur + 3^0 R.

1 Gramm ist = 0·001785 Wien. Pfund, = 0·2286 Quentchen, = 13·714 W. Gran, = 18·827 altfranz. Grains.

Der zehnte, hunderte, tausendste Theil des Gramm heißt Decigramm, Centigramm, Milligramm; das Zehnfache, Hundertfache, Tausendfache und Zehntausendfache des Gramm heißt Decagramm, Hectogramm, Kilogramm und Miriagramm.

1 Miligramm ist sehr nahe = $1/_{73}$ W. Gran.

1 Kilogramm = 1·786 W. Pfund = 1 Pfd. 25 Loth 34 Gran W. G.

Das neufranzösische Gewichtssystem, welches ebenfalls in den Niederlanden, in Belgien und in der Lombardei gesetzlich eingeführt ist, und auch in deutschen wissenschaftlichen und technischen Schriften sehr häufig gefunden wird, gewährt den Vortheil, daß die Gewichts- und Volum-Einheiten in einem einfachen Zusammenhange stehen, und man daher leicht von dem Volum auf das Gewicht und umgekehrt von dem Gewichte auf das Volum übergehen kann. Das halbe Kilogramm (d. i. 500 Gramme) bildet unter dem Namen Pfund auch die gesetzliche Gewichtseinheit an den Grenzen des deutschen Zollvereins, in Hessen, Baden, Sachsen und in der Schweiz, und wird in 32 Loth und 128 Quentchen eingetheilt.

Dem englischen Handelsgewichte, Avoirdupois-Gewicht genannt, liegt das Pound (Imperial-Standart-Pound) als Einheit zu Grunde; es wird in 16 Ounces oder 256 Drams oder 7000 Grains eingetheilt; eine Ounce hat daher 16 Drams.

1 Avoirdupois-Pound = 0·8099 Wien. Pfund, = 453·4148 Gramme.

112 Pounds = 1 Hundredweight.

1 Hundredweight = 98·8078 Wien. Pfund = 50·7824 Kilogramm.

20 Hundredweights = 1 Tun.

1 Tun = 1814·40 Wien. Pfund = 1015·6492 Kilogramm.

Nach dem altenglischen Handelsgewicht, Troy-Gewicht genannt, wird die Gewichtseinheit, das Pound (Troy-Pound) in 12 Ounces, die Ounce in 20 Penny-Weights (Pfennige) und 1 Penny-Weight in 24 Grains eingetheilt. 1 Troy-Pound = 0·6664 Wien. Pfund = 373·0956 Gramme. Ueber die andern häufiger vorkommenden Gewichtseinheiten und ihr Verhältniß zu einander sehe man die Tafel VI. am Ende des Buches.

16. Absolutes und specifisches Gewicht. Man unterscheidet ein doppeltes Gewicht der Körper, das absolute und das specifische. Das absolute Gewicht ist das Gewicht, welches einem Körper ohne Rücksicht auf seine Größe (sein Volum) zukommt, und dieses absolute Gewicht ist es, welches man durch das gewöhnliche Abwägen erhält. Das specifische oder eigenthümliche Gewicht ist das Gewicht, welches ein Körper unter dem Volum = 1 (unter der Volum-Einheit) hat. So sind die Gewichte eines Kub. Zolles Eisens, eines Kub. Fußes Wassers, eines Centilitre Goldes die specifischen Gewichte des Eisens, des Wassers, des Goldes.

Kennt man das absolute Gewicht eines Körpers (es heiße allgemein p), und weiß man auch, wie viel eine Volumeinheit (z. B. ein Kubikzoll) dieses Körpers wiegt, d. h. wie groß sein specifisches Gewicht ist, (es heiße s), so braucht man, — vorausgesetzt, daß der Körper gleichförmig dicht sei — um das Volum (es heiße v) des ganzen Körpers, d. i. die Anzahl Volumeinheiten (in unserem Beispiele Kubikzolle), die er enthält, zu erfahren, nur das absolute Gewicht durch das specifische zu dividiren; es ist demnach $p/s = v$; daraus $p = vs$ und $s = pv$. . . . (5) Mittelst dieser drei Gleichungen kann jede der drei Größen: absolutes Gewicht, specifisches Gewicht und Volum berechnet werden, wenn die zwei andern bekannt sind. Nie zu vergessen ist, daß hier v immer nur eine Zahl bedeutet, die anzeigt, wie vielmal jene Volumeinheit, auf welche sich das specifische Gewicht s des Körpers bezieht, in dem Volum des ganzen Körpers enthalten ist. Wäre z. B. das absolute Gewicht irgend eines Körpers 10 Loth, und das Ge-

wicht eines Kubikzolles dieses Körpers (sein specifisches Gewicht) 2 Loth, so hätte man nach der 1. der Gleichungen (5) $^{10}/_{2}$ Lth. = 5, wo die Zahl 5 Kubikzolle bedeutet, da das specifische Gewicht s sich auf den Kubikzoll als Volumeinheit bezieht. Mittelst dieser 1. Gleichung läßt sich demnach jedes noch so unregelmäßig gestaltete und geometrisch nicht meßbare Volum eines Körpers leicht finden, wenn sein absolutes und sein specifisches Gewicht gegeben ist. — Mittelst der 2. der Gleichungen (5) kann das absolute Gewicht z. B. einer Metall- oder Steinmasse leicht bestimmt werden, von der man annehmen kann, daß sie gleichförmig dicht sei, und die zu groß ist, um gewogen werden zu können, aber ein regelmäßiges, meßbares Volum besitzt. Man braucht nämlich nur das Volum der Masse, d. i. die Anzahl Volumeinheiten, welche die Masse faßt, mit dem vorläufig bestimmten Gewicht der Masse unter einer solchen Volumeinheit, d. i. mit dem specifischen Gewicht der Masse zu multipliciren. Die 3. der Gleichungen (5) endlich setzt uns in die Lage, z. B. von einem großen Körper, dessen Theilung in kleinere Stücke nicht angeht, dessen Volum aber bekannt oder meßbar ist, das specifische Gewicht, d. i. das Gewicht einer Volumeinheit zu ermitteln.

17. Specif. Gewicht zweiter Bedeutung. Mit dem Ausdrucke specifisches Gewicht verbindet man aber auch noch einen andern Begriff, als eben angegeben wurde: man versteht darunter nämlich (und dies ist im technischen und gewerblichen Leben fast immer der Fall) die Zahl, welche anzeigt, wievielmal größer oder kleiner das Gewicht des betreffenden Körpers ist, als das Gewicht eines gleich großen Wasserkörpers (meint hier aber immer reines destillirtes Wasser von bestimmter Temperatur, z. B. 3° R.; denn ein Wasserkörper von gewisser Größe hat je nach dem Grade der Reinheit und Temperatur des Wassers immer ein anderes Gewicht). Das specifische Gewicht des Goldes ist 19, heißt: das Gewicht irgend eines Goldkörpers beträgt 19mal mehr, als das Gewicht eines gleich großen Wasserkörpers. Das specifische Gewicht des Korkholzes ist 0·2, heißt: das Gewicht irgend einer Korkholzmasse beträgt nur $^{2}/_{10}$ von dem Gewichte einer gleich großen Wassermasse. Dieser zweite Begriff des specifischen Gewichtes fällt mit jenem der Dichte, von welcher vorn S. 20 die Rede war, zusammen, so daß die Zahlen, welche die specifischen Gewichte letzterer Bedeutung ausdrücken, zugleich die Ausdrücke für die Dichten sind. Wenn in der Folge von dem specifischen Gewichte eines Körpers gesprochen wird, so ist damit immer das specifische Gewicht in der eben erläuterten zweiten Bedeutung gemeint; soll man darunter das specifische Gewicht der ersteren Bedeutung verstehen, so wird dies ausdrücklich bemerkt werden.

Das specifische Gewicht ist für jede Substanz eine so bleibende und bezeichnende Eigenschaft, daß es ein sehr wichtiges, nicht selten das verläßlichste und oft das einzige Kennzeichen der materiellen Beschaffenheit eines Körpers abgibt. Ein Metall, das ganz das Aussehen des Goldes hat, ist gewiß kein Gold, wenn es nicht das specifische Gewicht 19 hat. Das einfachste Unterscheidungsmerkmal des absoluten Alkohols vom wasserhältigen ist das specifische Gewicht (0·791 für absol. Alkohol). Der Concentrationsgrad von Salzauflösungen, Laugen, verdünnten Säuren u. s. w. wird am einfachsten und am sichersten nach den specifischen Gewichten dieser Flüssigkeiten beurtheilt. Deswegen ist die Kenntniß des Verfahrens, die specifischen Gewichte der verschiedenen Körper zu bestimmen, für den Physiker, Techniker und Gewerbtreibenden von großer Wichtigkeit; es kann darüber aber erst in einem späteren Capitel mit der für's praktische Leben erforderlichen Vollständigkeit gehandelt werden. Die dem Buche angehängte Tafel **VII.** enthält eine ziemlich vollständige Sammlung der wichtigeren specifischen Gewichte.

II. Abschnitt.

Von den besonderen Eigenschaften der Körper, bedingt durch die Molecular-Anordnung.

18. Aggregationszustände. Besondere Eigenschaften der Körper heißen diejenigen, welche nicht allen, sondern nur gewissen Körpern zukommen, und durch welche sich die Körper somit von einander unterscheiden. Solche besondere physikalische, d. i. den äußern, räumlichen Zustand betreffende Eigenschaften besitzen die Körper rücksichtlich der Art und Weise, in welcher die kleinsten Theilchen (Atome und Molecule) zu einem Ganzen vereinigt sind, und welche (S. 19) den Aggregationszustand oder die Aggregatform der Körper ausmacht.

In Rücksicht der Aggregatform lassen sich alle Körper in zwei Hauptklassen theilen, nämlich in feste (starre) und in flüssige. Fest nennt man alle Körper, welche einer jeden Kraft oder Einwirkung, die eine Verrückung der Theilchen zu bewerkstelligen sucht, einen mehr oder weniger großen Widerstand entgegensetzen und eine selbstständige Gestalt haben. Hölzer, Steine, Metalle, Wachs, Papier u. s. w. gehören hieher. Flüssige Körper heißen jene, deren Theilchen schon durch eine sehr geringe Kraft verrückt und verschoben werden, und welche in Folge dieser leichten Verschiebbarkeit keine selbstständige Gestalt haben können, sondern immer die Gestalt des Gefäßes annehmen müssen, worin sie sich befinden. Bei theoretischen Untersuchungen betrachtet man die Theilchen flüssiger Körper als absolut leicht d. i. durch die geringste denkbare Kraft verschiebbar, ein Zustand, den man bei keiner der bekannten Flüssigkeiten in Wirklichkeit findet, sondern welchem diese Flüssigkeiten nur mehr oder weniger nahe kommen.

Die flüssigen Körper zerfallen wieder in zwei Klassen, nämlich in tropfbar flüssige (tropfbare) und ausdehnsam flüssige (ausdehnsame, gasförmige). Erstere bilden, in kleinen Mengen, Tropfen und lassen sich selbst durch die größten uns zu Gebote stehenden mechanischen Kräfte nur äußerst wenig zusammendrücken, so daß man sie selbst noch für beträchtliche Druckkräfte als völlig unzusammendrückbar ansehen kann; letztere sind hingegen in einem hohen Grade zusammendrückbar und alle ihre Theile äußern beständig das Bestreben, sich von einander zu entfernen. Zu den tropfbaren Flüssigkeiten gehören: das Wasser, der Weingeist, das Quecksilber, die verschiedenen Oele 2c. 2c.; ausdehnsam flüssig sind: die atmosphärische Luft, in der wir leben, die aus dem Champagner in unzähligen Bläschen aufsteigende Kohlensäure, das zur Gasbeleuchtung dienende Steinkohlengas, der Wasserdampf u. s. w.

Bei den ausdehnsamen (mit Ausdehnsamkeit begabten) Körpern endlich unterscheidet man Gase und Dünste, und nennt Gase diejenigen, welche entweder bei keiner uns möglichen noch so großen Erkaltung und Zusammendrückung (Verdichtung), oder doch wenigstens erst bei ungewöhnlich niedriger Temperatur und sehr starker Verdichtung in den tropfbaren Zustand übergehen, während man unter Dünsten jene ausdehnsamen Körper versteht, welche schon bei verhältnißmäßig geringer Abkühlung und Verdichtung tropfbar werden. Die Dünste werden, wie die Folge lehren wird, durch die Wirkung der Wärme und zwar bei sehr ver-

schiedenen Temperaturen gebildet. Dünste, welche aus tropfbaren Flüssigkeiten erzeugt werden, wenn diese Flüssigkeiten sieden, pflegt man gewöhnlich Dämpfe zu nennen.

19. Grund des Aggregationszustandes. Der Grund des Aggregationszustandes und seiner eben auseinander gesetzten Verschiedenheit ist in den Molecularkräften (§. 8) und in dem gegenseitigen Verhältnisse derselben zu suchen. Von diesen Kräften wurde (man sehe den nämlichen §. 8), vorausgesetzt, daß die eine, die Anziehungskraft, die kleinsten Körpertheilchen beständig einander zu nähern, die andere, die Abstoßungskraft, hingegen diese Theilchen fortwährend von einander zu entfernen sucht. Findet nun bei den Körpern weder eine gegenseitige Annäherung noch Entfernung ihrer Theilchen Statt, sondern befinden sich diese gegeneinander in Ruhe, so müssen beide Kräfte im Gleichgewichte sein; es ist somit dieses Gleichgewicht der Molecularkräfte im Allgemeinen die Bedingung, unter welcher die kleinsten Theilchen der Körper in einer bestimmten Anordnung und Vereinigung zu einem Ganzen verbleiben, oder mit andern Worten, unter welcher die Körper eine bestimmte Aggregationsform zeigen. Nun können aber die zwei Molecularkräfte bei verschiedenen Arten der Anordnung und Vereinigung der kleinsten Körpertheilchen zu einem Ganzen mit einander im Gleichgewichte stehen, und hierin liegt der Grund der Verschiedenheit des Aggregationszustandes der Körper; den Aggregationszustand ändern und die Molecularkräfte in einen anderen Gleichgewichtszustand versetzen, ist gleichbedeutend.

Ein solches Gleichgewicht zwischen den zwei Molecularkräften an und für sich ist aber, wie uns die Erscheinungen zu schließen nöthigen, nur bei festen Körpern vorhanden, bei tropfbaren muß ein geringes, bei ausdehnsamen hingegen ein unendlich großes Uebergewicht der Abstoßungskraft über die Anziehungskraft (so daß diese bei den ausdehnsamen Körpern gar nicht vorhanden erscheint) angenommen werden, und wenn die Flüssigkeitstheilchen ungeachtet dieses Uebergewichtes der Abstoßungskraft sich nicht fliehen, sondern nebeneinander in Ruhe verbleiben, also Anziehungs- und Abstoßungskraft im Gleichgewichte erscheinen, so kommt dieses nur daher, daß das besagte Uebergewicht der Abstoßungskraft durch irgend eine von der Wirkung der Anziehungskraft verschiedene und ganz unabhängige Einwirkung (durch einen Druck, ein Hinderniß von Außen u. s. w.) aufgehoben wird. In den gewöhnlichen Fällen ist es bei tropfbaren Flüssigkeiten an der Oberfläche der Druck der atmosphärischen Luft und an jedem Punkt im Innern ihrer Masse noch außerdem der Druck der darüber liegenden Flüssigkeitstheilchen, welcher die etwas überwiegende Abstoßungskraft mit der Anziehungskraft ins Gleichgewicht setzt und hiedurch verhindert, daß die Flüssigkeitstheilchen einander fliehen, d. h. daß die tropfbare Flüssigkeit in den ausdehnsamen Zustand (in Dunst) übergeht. Befindet sich eine tropfbare Flüssigkeit im luftleeren Raum, so vertreten (in Aufhebung des Uebergewichtes der Abstoßungskraft) die Stelle der Luft sehr bald die Dünste, welche sich daselbst sogleich aus den Theilchen an der Oberfläche der Flüssigkeit zu bilden beginnen und in dem Maße, als sie sich über der Flüssigkeit mehr anhäufen, auf diese durch ihre Ausdehnsamkeit einen immer größeren Druck ausüben. Werden die Dünste, so wie sie entstehen, immer gleich wieder entfernt, so daß sie keinen Druck auf die Flüssigkeit üben können, so bleibt das Uebergewicht der Abstoßungskraft in Wirksamkeit und der Uebergang in den ausdehnsamen Zustand (die Dunstbildung oder Verdunstung) muß, wie die Erfahrung dies auch bestätigt, ununterbrochen fortdauern. Wenn unter gewissen Umständen die Theilchen einer ausdehnsamen Flüssigkeitsmasse einander nicht wirklich fliehen, so liegt die Ursache in dem Hinderniß, welches die Wände des Gefäßes, worin die Masse enthalten ist, oder überhaupt die Umgebungen dieser Masse der überwiegenden Ab-

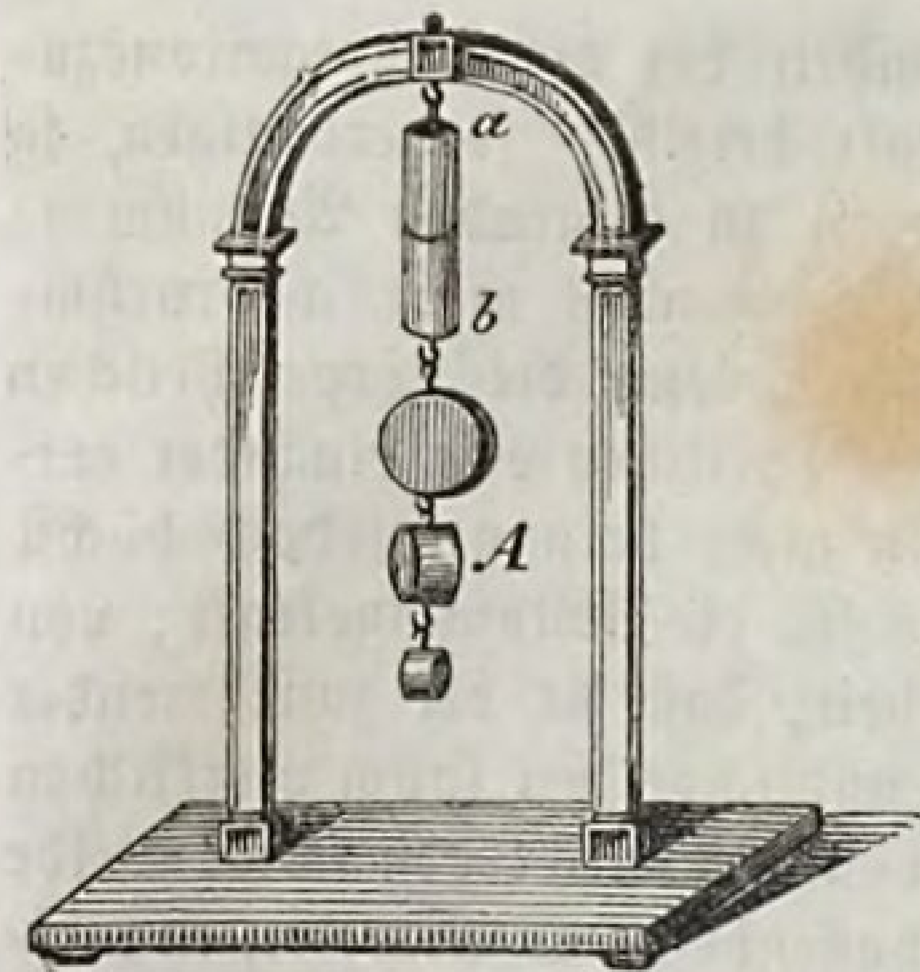
stoßungskraft unüberwindlich entgegenstellen, oder ist in der Wirkung anderer Kräfte (z. B. der Schwerkraft) zu suchen, worüber erst später ausführlicher und verständlicher gesprochen werden kann.

20. Cohäsion. Was die nähere Beschaffenheit der die Aggregationszustände begründenden Anziehungs- und Abstoßungskraft betrifft, so berechtigen, ja nöthigen die durch diese Kräfte bedingten Erscheinungen zu folgenden Annahmen: Beide Kräfte äußern nur auf sehr kleine, für unsere Sinne nicht mehr wahrnehmbare Entfernungen noch merkliche Wirkung; sie wachsen, wenn die Körpertheilchen einander näher gebracht, und nehmen ab, wenn diese Theilchen von einander entfernt werden. Das Gesetz dieser Zu- und Abnahme ist nicht bekannt, jedoch höchst wahrscheinlich für die Anziehungskraft ein anderes als für die Abstoßungskraft; von der Anziehungskraft weiß man mit voller Bestimmtheit, daß sie bei zunehmender Entfernung der Körpertheilchen sehr rasch abnimmt, und schon bei kaum merklichen Entfernungen dieser Theilchen als verschwindend klein angesehen werden kann. Beide Kräfte hängen auch von der innern Natur und Beschaffenheit der Materie, in welcher sie ihren Sitz haben, ab. Der Widerstand, den ein fester oder tropfbarer Körper jeder äußern, eine Entfernung oder Trennung seiner Theile bezweckenden Einwirkung (dem Dehnen, Zerbrechen, Zertheilen u. s. w.) entgegensetzt, kommt von der Anziehung, und der Widerstand, der bei jedem Versuche, die Theilchen eines Körpers einander näher zu bringen, wahrgenommen wird, kommt von der Abstoßung, die zwischen den Körpertheilchen in Folge der zwischen denselben wirksamen Anziehungs- und Abstoßungskraft Statt haben. Man nennt diese Anziehung zwischen den kleinsten *gleichartigen* Körpertheilchen *Cohäsion* und die der Cohäsion zu Grunde liegende Kraft zum Unterschiede von jeder andern anziehenden Kraft *Cohäsionskraft*. Um den Zustand der Unverschiebbarkeit oder doch nur begrenzten Verschiebbarkeit der Theilchen fester Körper, und der außerordentlich (absolut) leichten Verschiebbarkeit der Theilchen im Innern der Masse tropfbarer Flüssigkeiten genügend erklären zu können, muß man annehmen, daß bei festen Körpern die *Cohäsionskraft* nach verschiedenen Richtungen ungleiche, wahrscheinlich von der Gestalt und den gegenseitigen Abständen der Atome abhängige Wirkungen äußere, bei tropfbaren Flüssigkeiten hingegen im Innern der Masse nach allen Richtungen gleich stark wirke, so daß die gegenseitige Position der Molekel durch die geringste Kraft verändert werden kann. . . . (†) — Die *Cohäsionskraft* kann, wie schon vorher angeführt worden, ihre Wirkung in noch merklichem Grade nur auf für die Sinne verschwindend kleine Entfernungen erstrecken, die über das, was man *Berührung* zu nennen pflegt, nicht hinausgehen. Zertheilt man demnach einen Körper, z. B. Glas, Holz, Kreide durch Zerbrechen, Zerreiben, Zerstoßen u. s. w. in kleinere Stücke, so zeigt sich zwischen diesen Stücken, da sie jetzt einander nicht mehr so nahe sind wie vorher, keine wahrnehmbare Anziehung mehr und sie können durch bloßes Aneinanderdrücken auch nie wieder vereinigt werden, weil es unmöglich ist, sie hiedurch an hinreichend vielen Punkten in die zu fester Aneinanderhaftung (Vereinigung) erforderliche innige Berührung zu bringen. Macht man es aber den getrennten Theilen z. B. durch Abschleifen oder Glätten der Oberflächen möglich, an mehreren Stellen in innige Berührung zu treten, so kommt sogleich wieder merkliche Anziehung zum Vorschein, die, da sie mit der Anzahl der Berührungspunkte wächst, den zum abermaligen Zusammenhängen der Theile nöthigen Grad besitzt. Zwei gleichartige Platten von Glas, Metall u. dgl. an den wohl geebneten und polirten Flächen in wechselseitige Berührung gebracht (Cohäsionsplatten) haften oft mit sehr bedeutender Kraft aneinander.

Ebenso gelingt es leicht, Stücke eines weichen Körpers, dessen Theilchen sich ohne Aufhebung ihres Zusammenhanges verschieben lassen, durch kräftiges Aneinanderdrücken wieder zu vereinigen, indem durch das Aneinanderdrücken die Theilchen dieser Stücke so verschoben wer-

den, daß sie nachher an vielen Punkten sich innig berühren. Aus diesem Grunde halten zwei cylindrische Bleistücke, a, b (Fig. 14), die man an gut aneinander passenden und mittelst der Feile aufgefrischten Flächen nur mäßig an einander drückt, so fest zusammen, daß das eine eine Last (A) von vielen Pfunden zu tragen vermag, ohne sich von dem andern loszureißen; Stücke von Wachs können durch Zusammenkneten, und Stücke von Eisen oder von Platin können, nachdem sie vorher durch Hitze weich gemacht worden, unter dem Hammer oder zwischen Walzen zu einem Stücke vereinigt (zusammengeschweißt) werden. Aus einem mäßig dicken viereckigen Kautschuk-Streifen entsprechender Länge und Breite kann man leicht ihrer ganzen Länge nach luftdichte, zu vielen physikalischen, chemischen und technischen Zwecken recht brauchbare Röhrchen verfertigen, indem man dem besagten Streifen an den zwei entgegengesetzten Längenkanten mit einer reinen Schere frische geradlinige Schnittflächen gibt, und diese Flächen, ohne sie mit dem Finger zu berühren, gut aneinander drückt, wodurch sie in Folge Cohäsionswirkung auf das Innigste vereinigt werden. Aus gleichem Grunde vereinigen sich getrennte Theile tropfbarer Flüssigkeiten so leicht, wenn sie wieder in Berührung gebracht werden.

Fig. 14.

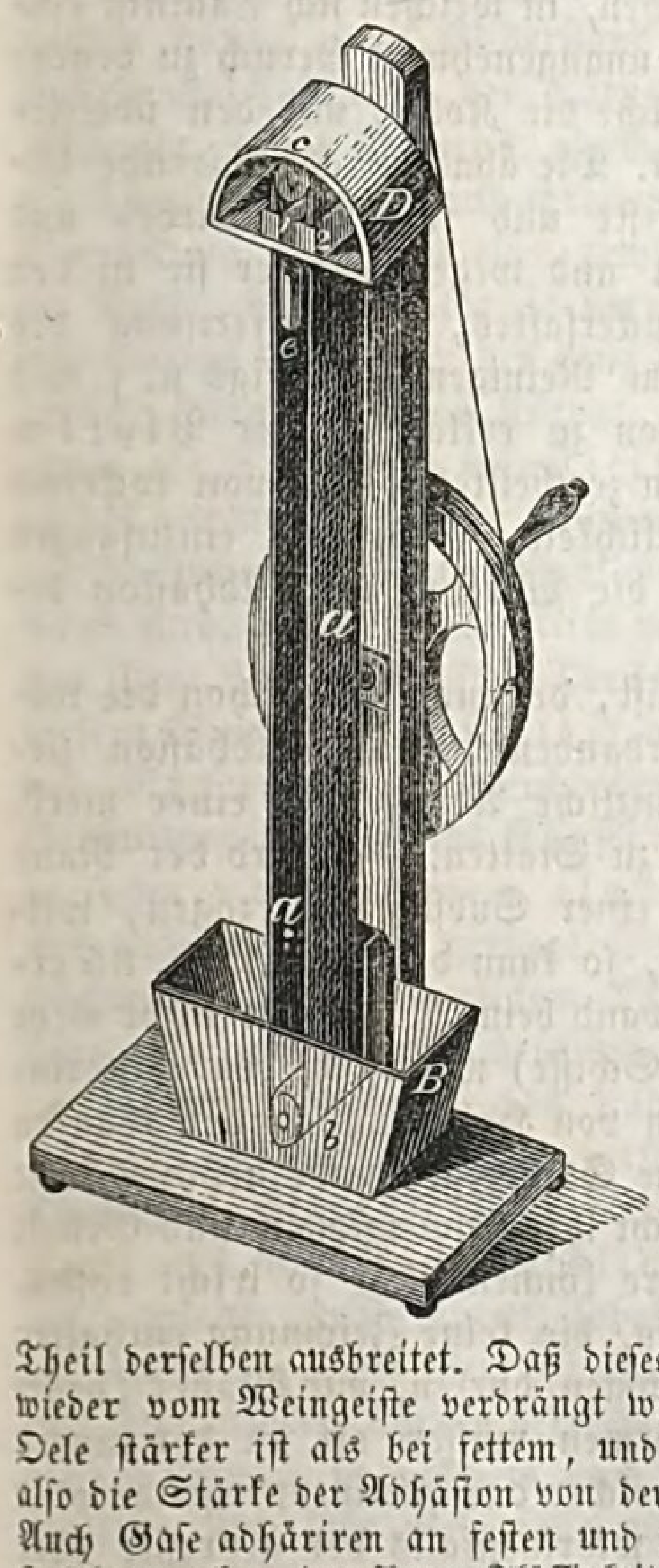


21. Adhäsion. Eine der Cohäsion (Anziehung zwischen gleichartigen Körpertheilchen) ähnliche Wirkung findet auch zwischen den Theilchen ungleichartiger Körper Statt und äußert sich durch das Aneinanderhaften dieser Körper, wenn sie sich an hinreichend vielen Punkten innig berühren; man heißt diese Anziehung Adhäsion, und da sie nur von den unmittelbar an der Oberfläche gelegenen Theilchen ausgehen kann (indem die Erfahrung lehrt, daß sie von der Dicke der aneinander haftenden Körper ganz unabhängig ist), auch Flächenanziehung. Cohäsion und Adhäsion faßt man unter dem Namen Molecular-Anziehung zusammen. Die Adhäsion findet zwischen festen, zwischen festen und flüssigen und auch zwischen flüssigen Körpern jeder Art Statt. Zwei Massen aus verschiedenen Metallen haften, an wohl geschliffenen und polirten, zusammenpassenden Flächen in Berührung gebracht, mit einer Kraft aneinander, deren Größe von der materiellen Beschaffenheit der Platten abhängt und mit der Größe der sich berührenden Flächen wächst (Adhäsionscylinder, Adhäsionsplatten). Metalle, Steine, Hölzer, Leder, Papier 2c. werden durch (ihnen adhärirenden) Kitt, Leim, Pappe u. s. w. vereinigt; Wasser und andere Flüssigkeiten bleiben an der Hand oder andern hineingetauchten Körpern in dünnen Schichten hängen (d. h. benetzen sie).

Andere bemerkenswerthe Beispiele von Adhäsion sind auch folgende: Die Kreidetheilchen adhäriren der Tafel, die Theilchen gewöhnlicher und lithographischer Zeichenstifte dem Papier, dem Holz, dem Stein u. s. w., worauf man schreibt oder zeichnet; Gold adhärirt, fein zertheilt, dem Stein (Probirstein), worauf es probirt und Stahl dem Stein und Leder, worauf er geschliffen oder polirt wird. Zwei größere, wohl polirte ebene Spiegelplatten aus noch so ungleichartigem Glase halten, wenn sie auf einander gelegt werden, oft so fest zusammen, daß sie, ohne zerbrochen zu werden, nicht mehr voneinander zu trennen sind, und daß ein Schnitt, der mittelst eines Diamants durch die eine Platte gemacht wird, auch durch die zweite hindurchgeht. In den Flaschenhals gut eingeschliffene Glasstöpsel, in ihre Sitze genau eingepaßte metallene Ventilzapfen stecken oft so fest, daß sie nur mit Noth wieder los gemacht werden können. Silber, Gold oder Platin haftet blos durch Adhäsion fest auf Kupfer, wenn dieses, mit einem der besagten drei Metalle in inniger metallischer Berührung, zum starken Rothglühen gebracht und dann noch glühend mehrmals zwischen den Walzen eines starken Walzwerkes durchgehen gelassen wird. Auf diese Weise erhält man die silber- und goldplattirten Kupferbleche, woraus die platirten Geräthe verfertigt werden. Die Adhäsion bewirkt: daß beim Belegen der Spiegel die sogenannte Belegung, (das Zinnamalgam d. i. mit Quecksilber gleichmäßig überstrichene Zinnfolie, worauf die Spiegelglastafel gelegt und, mit Gewichten beschwert, einige Zeit liegen gelassen wird) der Glastafel fest anhängt; daß beim Schreiben, Malen und Anstreichen die Tinte und die Farben auf dem Papiere, dem Holze u. dgl., beim Kupfer-, lithographischen und Letternn-Druck die Schwärze in den Vertiefungen der Kupfer-, der Stein-Platte und an den Lettern, endlich auf dem Stoffe, der den Abdruck enthalten soll, daß der Anwurf an den Mauern,

daß die Farbe an den Formen und Walzen beim Zeugdrucke haftet; daß man einen namhaften Widerstand erfährt, wenn eine Scheibe aus passendem Materiale mit der Oberfläche einer ruhig stehenden Flüssigkeit in Berührung gebracht und nachher der Versuch gemacht wird, die Scheibe in vertikaler Richtung aufzuheben, ja daß man zugleich mit der Scheibe eine anhängende Flüssigkeitssäule bis zu einer bestimmten Grenze in die Höhe heben kann, wo dann Scheibe und Flüssigkeit sich trennen. Man macht diesen Versuch so, daß man die Scheibe an der einen, an der untern Fläche mit einem Häkchen versehenen Schale einer Wage aufhängt, daran durch auf die zweite Wagschale aufgelegte Gewichte äquilibrirt, dann mit der Flüssigkeitsoberfläche in Berührung bringt und nun allmälig bis zum Eintritte der besagten Trennung noch Gewichte zulegt. Diese zugelegten Gewichte sind in dem Falle, daß, wie bei Glas und Quecksilber, die Scheibe von der Flüssigkeit nicht benetzt wird, nahe das Maß der Adhäsion; im Falle einer Benetzung hingegen, wo an der getrennten Scheibe sich immer eine Flüssigkeitsschichte hängen geblieben zeigt, sind sie, um das Gewicht der hängen gebliebenen Schichte vermindert, das Maß der Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen untereinander. Die Adhäsion zwischen dem Wasser und dem Glase ist auch Ursache, warum beim langsamen Ausgießen des Wassers aus einem geneigten gläsernen Gefäße ersteres längst der äußeren Fläche der Gefäßwand herabrinnt und warum dieselbe Erscheinung auch bei andern Flüssigkeiten und Gefäßen Statt findet; warum auf eine reine Glasplatte fallende Wassertropfen auseinander fließen (die Adhäsion zwischen Glas und Wasser ist nämlich größer als die Cohäsion zwischen den Wassertheilchen, welche die Ursache der Tropfenbildung ist; wie Wasser gegen reines Glas, ebenso verhält sich Quecksilber gegen Glas, welches an der Oberfläche fett gemacht worden, oder gegen Zinn). Endlich beruht auf der Adhäsion zwischen festen und tropfbaren Körpern auch **Vera's Maschine**. Ein Modell derselben sieht man in Fig. 15 abgebildet. Sie besteht aus einem Stricke oder (besser) aus einem breiten hanfenen Bande a (einer Gurte) ohne Ende, welches um zwei in entsprechender Entfernung über einander angebrachte Rollen oder Walzen b, c geht. Diese können an einer Säule, wie in der Figur oder sonst auf eine passende Weise (die eine z. B. im Erdgeschoße, die andere in einem Stockwerke eines Gebäudes oder dgl.) festgemacht sein. Die untere Rolle b befindet sich in einem Wasserbehälter B, die obere c an dem Orte, wohin das Wasser gehoben werden soll, in einem geschlossenen Behältnisse D, welches das gehobene Wasser aufnimmt, dessen Herumspritzen verhindert und dieses Wasser, da die aus dem Boden von D emporstehenden Röhren 1, 2 das Zurückfließen desselben in den Behälter B nicht gestatten, durch eine Röhre e seinem Bestimmungsorte zuführt. (Bei dem in der Figur dargestellten Modelle führt die Röhre e das gehobene Wasser wieder dem Behältnisse B zu, um das Modell, ohne nach B neuerdings Wasser einfüllen zu müssen, längere Zeit in Thätigkeit erhalten zu können.) Die Rolle c kann mittelst eines Rades f und Kurbel oder sonst auf eine Weise gedreht werden und nimmt dann das Band a mit sich fort. Wird schnell genug gedreht, so erscheint die aufsteigende Hälfte des Bandes ganz mit einer dicken Hülle adhärirenden Wassers umgeben, welches wegen der schnellen Bewegung des Strickes früher im Behältnisse D ankommt, als es Zeit findet, sich durch sein Gewicht vom Bande loszumachen und in den Behälter B zurückzufallen. — Die Adhäsion zwischen tropfbaren Flüssigkeiten wird durch die Erfahrung nachgewiesen, daß ein Tropfen fetten Oeles, auf eine Wasserfläche gebracht, sich schnell über einen beträchtlichen Theil derselben ausbreitet. Daß dieses fette Oel auf dem Wasser von flüchtigem Oele und dieses wieder vom Weingeiste verdrängt wird, zeigt, daß die Adhäsion zum Wasser bei flüchtigem Oele stärker ist als bei fettem, und bei Weingeist wieder stärker als bei flüchtigem Oele, daß also die Stärke der Adhäsion von der materiellen Beschaffenheit der Flüssigkeiten abhängt. — Auch Gase adhäriren an festen und tropfbaren Körpern: deswegen kann die Luft, die beim Luftleermachen tropfbarer Flüssigkeiten durch Auskochen derselben in engen Gefäßen oder Röhren (z. B. von Glas) an den Wänden dieser letzteren in unzähligen Bläschen erscheint, davon nur mit Mühe (meistens nur durch starkes Erhitzen) losgemacht werden. Der eigenthümliche, sogenannte Luftgeruch, den die aus kalter frischer Luft in ein Zimmer gebrachten Gegenstände

Fig. 15.



(z. B. Kleidungsstücke an dem Körper eines das Zimmer betretenden Menschen) verbreiten, kommt von einer Luftschichte, die an der Oberfläche dieser Gegenstände ebenso adhärirt, wie überhaupt alle Körper an ihrer Oberfläche eine ihnen anhaftende und selbst verdichtete Schichte des Gases zeigen, worin sie sich befinden. Daß die Menge des adhärirenden Gases von der durch die materielle Beschaffenheit der Gase und der andern Körper bedingten Adhäsionsstärke und von der Anzahl der Berührungspunkte zwischen den Gasen und den andern Körpern (denen sie adhäriren) abhängen müsse, leuchtet nach dem Vorhergesagten für sich ein.

22. Absorbtion. Da poröse und gepulverte Körper einem Gase, mit dem sie in Berührung stehen, nicht bloß an ihrer äußern Oberfläche, sondern auch im Innern, in ihren Poren und in den Zwischenräumen der Pulvertheilchen Berührungspunkte darbieten, so müssen, wenn zwischen ihnen (den porösen und gepulverten Körpern) und dem sie umgebenden Gase überhaupt Adhäsion herrscht, auch die inneren, die Poren und Zwischenräume begrenzenden unzähligen Flächen Gastheile an sich ziehen (die Körper müssen Gas einsaugen, absorbiren) und die Menge des von einem Körper absorbirten Gases muß unter übrigens gleichen Umständen desto größer sein, je mehr Poren der Körper hat oder in je feinere Theile er zertheilt und je stärker die vorhandene Adhäsion ist. Deswegen absorbirt die sehr poröse frischgeglühte vegetabilische und auch thierische Kohle (Holz- und Knochenkohle), besonders in grob gepulvertem oder gekörntem Zustande, Gase in sehr bedeutender Menge und wird daher im gemeinen und technischen Leben mit Vortheil dazu angewendet, um Körpern (z. B. solchen, in welchen sich Fäulniß eingestellt hat, wie bei verdorbenem Wasser) einen unangenehmen Geruch zu benehmen, der von vorhandenen Gasen herkommt, welche die Kohle, mit den übelriechenden Körpern in Berührung gebracht, absorbirt. Die ähnliche absorbirende Eigenschaft, welche die genannten Kohlen gegen feste und tropfbare Färbe- und Riechstoffe, Salze und andere Substanzen besitzen und wegen welcher sie in den Gewerben häufig (z. B. zum Entfärben des Zuckersaftes, zur Entfernung des übelriechenden Fuselöls aus dem Branntwein, zum Reinigen des Essigs u. s. w.) Anwendung finden, ist gleichfalls aus der Adhäsion zu erklären. Der Platinschwamm, d. i. durch chemische Mittel sehr fein zertheiltes Platin von lockerem schwammartigen Gefüge verdankt die Eigenthümlichkeit, Gase stark einzusaugen und in sich zu verdichten, eben diesem porösen, die Wirkung der Adhäsion begünstigenden Gefüge.

So vielseitig und groß einerseits der Nutzen ist, den man, wie schon die wenigen angeführten Beispiele zeigen, aus dem Vorhandensein einer Adhäsion ziehen kann, so gut kommt uns andererseits die gänzliche Abwesenheit einer merklich hervortretenden Adhäsion bei vielen Körpern zu Statten. — Wird der Rand eines Gefäßes mit etwas Fett oder überhaupt mit einer Substanz überzogen, welcher die Flüssigkeit in dem Gefäße nicht adhärirt, so kann das vorher S. 35 erwähnte Herabrinnen der Flüssigkeit an der Gefäßwand beim Ausgießen nicht mehr Statt finden. — Mit Theer getränktes Holz (der Schiffe) widersteht dem Eindringen des Wassers, und in Oel gesottene Stangen von Holz und an der blanken Oberfläche mit einer dünnen Oelschichte überzogene Stahlgegenstände nehmen keine Feuchtigkeit an; erstere können daher nicht so leicht ihre Dimensionen und Gestalt ändern (sich verziehen, werfen u. s. w.) und letztere können nicht so leicht rosten. — Der lithographische Stein wird an den Stellen, die keine Zeichnung enthalten und also auch die fette Druckerschwärze nicht annehmen dürfen, mit Wasser (besser mit Gummiwasser) getränkt; Preß- und Gieß-Formen müssen oft an der innern Fläche mit einer Substanz überzogen werden, zu welcher das hineinzupressende oder hineinzugießende Materiale keine Adhäsion hat, widrigenfalls der gepreßte oder gegossene Gegenstand der Form anhängen würde und nicht unbeschädigt aus derselben herauszubringen wäre. — Beim Auswalzen und Zerschneiden fetter oder klebriger Körper müssen die dazu dienlichen Werkzeuge (z. B. das Kreismesser — d. i.

eine am Umfange schneidige runde Scheibe, — womit man aus einem dicken Kautschukblock die dünnen im Handel vorkommenden Blätter schneidet) immer naß gehalten werden u. s. w.

23. Elasticität. Alles, was an Körpern der Cohäsionskraft entgegenwirkt und somit die zweite der Molecularkräfte, die Abstoßungskraft, unterstützt, muß eine Entfernung der Körpertheilchen von einander (d. i. entweder eine Ausdehnung der Körper oder eine Trennung der Körpertheile, eine Aufhebung ihres Zusammenhanges) bewirken, und Alles, was der Abstoßungskraft entgegenwirkt und die Cohäsionskraft unterstützt, muß ein Aneinanderrücken der Körpertheilchen (eine Zusammenziehung der Körper) verursachen. Eine Hauptrolle spielt, wie uns schon aus Früherem bekannt ist, bei der Ausdehnung und Zusammenziehung der Körper die Wärme; darüber kann aber erst die Wärmelehre das Weitere enthalten. Hier soll in Beziehung auf diese Ausdehnung und Zusammenziehung (Zusammenrückung) und auf die besagte Aufhebung des Zusammenhanges der Theilchen nur das Verhalten der Körper gegen von Außen einwirkende Kräfte (Zieh-, Dehn- und Druckkräfte) näher betrachtet werden.

Alle Körper erfahren unter der Einwirkung äußerer Kräfte eine Ausdehnung oder Zusammenziehung (d. i. eine Verrückung ihrer Theilchen, verbunden mit gegenseitiger Entfernung oder Annäherung dieser letzteren ohne Aufhebung ihres Zusammenhanges), setzen jedoch dabei der Kraft, welche eine solche Verrückung zu bewirken sucht, einen Widerstand entgegen, dessen Größe vorzüglich von der materiellen Beschaffenheit der Körper, von ihrer Aggregatform und ihrer Temperatur abhängig, unter übrigens gleichen Umständen aber desto bedeutender ist, je mehr die Theilchen bereits aus ihrer ursprünglichen Lage verrückt worden sind. Geht diese Verrückung nicht über eine gewisse Grenze hinaus, so kehren die Theilchen, sobald die Kraft, durch welche sie verrückt wurden, zu wirken aufgehört hat, wieder in ihre vorige Lage entweder ganz (vollkommen) oder nur theilweise (unvollkommen) zurück. Man nennt die Körper, bei welchen dieß der Fall ist, elastisch, schreibt ihnen als Eigenschaft Elasticität zu, und unterscheidet vollkommen und unvollkommen elastische Körper, je nachdem bei denselben die besagte Rückkehr der Theilchen in die ursprüngliche Lage vollkommen oder nur unvollkommen Statt findet. Unter Elasticität versteht man aber auch die innere Kraft, womit die aus ihrer Lage verrückten Theilchen wieder in dieselbe zurückzukehren suchen, und in diesem Sinne ist Elasticität mit Federkraft, Spannkraft, Schnellkraft und Sprungkraft gleichbedeutend. Nach der eben erläuterten wissenschaftlichen Bedeutung des Wortes Elasticität sind alle Körper ohne Ausnahme elastisch, ja sogar vollkommen elastisch, viele jedoch nur für überaus kleine Kräfte und nur für äußerst geringe Verrückungen der Theilchen, so daß sich diese Verrückungen oft der sinnlichen Wahrnehmung ganz entziehen und nur aus gewissen durch sie bedingten Erscheinungen erkannt und gefolgert werden.

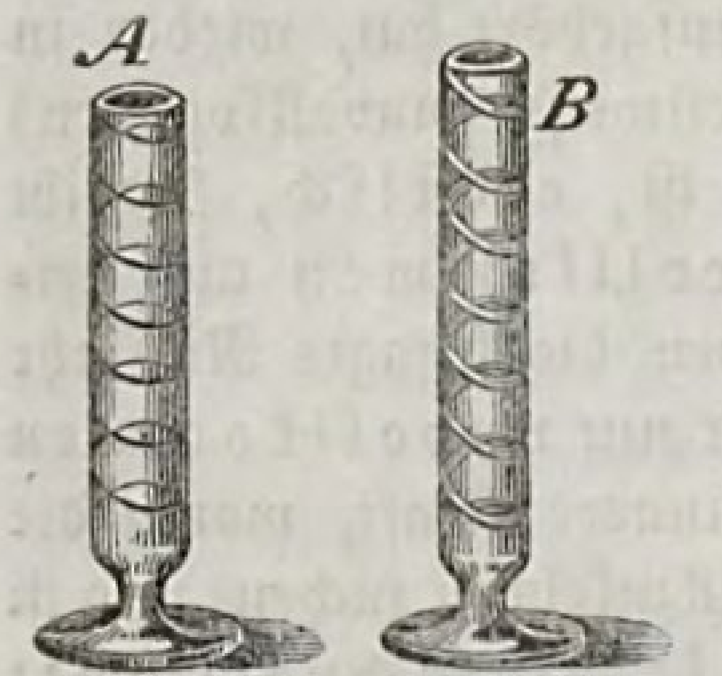
Wenn im technischen und überhaupt praktischen Leben von elastischen Körpern die Rede ist, so versteht man darunter gewöhnlich jene Körper, deren Theilchen, wenn sie durch eine mehr oder weniger beträchtliche äußere Kraft aus ihrer Lage merklich verrückt worden sind, in diese Lage vollkommen wieder zurückkehren, sobald die äußere Ursache dieser Verrückung zu wirken aufgehört hat, wie dieß bei Kautschuk, mäßig gehärtetem Stahle u. s. w. der Fall ist. Alle andern Körper betrachtet man als unelastisch (z. B. Thon, Blei). In diesem Sinne, in welchem auch wir von nun an das Wort Elasticität nehmen wollen, sind sehr viele feste und alle tropfbaren Körper sowohl für dehnende als zusammendrückende Kräfte elastisch (für dehnende Kräfte zeigt sich die Elasticität tropfbarer Flüssigkeiten sehr augenfällig an einzelnen Tropfen, die eine deutliche Dehnung gestatten und nachdem die Ziehkraft, welche die Dehnung her-

vorbrachte, zu wirken aufgehört hat, sogleich ihre vorige Gestalt wieder annehmen). Ausdehnsame Flüssigkeiten sind aber nur für zusammendrückende Kräfte elastisch, und zwar sind es Gase noch für die größten Druckkräfte, die uns zu Gebote stehen, und für sehr beträchtliche Verrückungen ihrer Theilchen, weswegen man sie auch vorzugsweise elastische Flüssigkeiten heißt. Wir wollen jetzt die Elasticität aber nur fester Körper etwas weiter verfolgen, da ein näheres Detail über die Elasticität tropfbarer Flüssigkeiten für die Zwecke des Praktikers in keiner Beziehung von großem Belange ist und dasjenige, was demselben über die Elasticität ausdehnsamer Stoffe zu wissen Noth thut, sich viel zweckmäßiger an andern Orten abhandeln läßt.

24. Größe und Grenze der Elasticität. Die größte Kraft, für welche ein Körper noch elastisch ist, wird seine Elasticitätsgröße genannt, und die Verrückung, welche die Theile durch diese größte Kraft erfahren und die zugleich die äußerste Verrückung ist, welche die Theile vertragen, ohne daß der Körper aufhört, elastisch zu sein, heißt die Elasticitätsgrenze des Körpers. Je nachdem die Elasticitätsgröße eines Körpers mehr oder weniger bedeutend ist, sagt man, er sei in einem höheren oder geringeren Grade elastisch. In hohem Grade sind es: Elfenbein, Kautschuk, gut gekühltes Glas, gehärteter Stahl, gehämmertes Messing u. s. w.

Läßt man eine Kugel von Elfenbein aus einiger Höhe auf eine berußte ebene Marmor- oder andere feste Steinfläche herabfallen, so zeigt sie nach dem Zurückspringen vom Steine wieder ihre vollkommene Kugelgestalt, an ihrer Oberfläche aber einen kreisrunden schwarzen Rußfleck zum Beweis, daß sie am Steine eine Zusammendrückung (Abplattung) erfahren hatte. Die Elasticität des Glases sieht man unter Andern auffallend an einem dünnwandigen cylindrischen Gefäße, welches mittelst einer Sprengkohle vom Boden bis an den obern Rand in Spiralrichtung zersprengt worden (A Fig. 16). Man kann die so erhaltene Glasspirale mit den Händen sehr merklich auseinander ziehen (wie bei B in Fig. 16), und wenn man mit der Zugkraft nachläßt, schließen die Spiralgänge sich wieder so innig an einander an, daß in das Gefäß gegossenes Wasser nirgends durch den spiralförmigen Sprung ausfließt. — Die feinen Fäden, zu welchen sich das Glas in der Lampenflamme eines Blastisches ausziehen läßt, können zu sehr kleinen Kreisen oder Ringen zusammengebogen werden und nehmen nach Aufhören der Biegkraft ihre gerade Richtung wieder vollkommen an. Diese Glasfäden werden in neuerer Zeit zur Erzeugung von Geweben verwendet, woran die Kette aus Baumwoll- oder anderem Garne und der Eintrag oder Schuß aus Glasfäden besteht, und die sich ihres schönen Glanzes und der lebhaften Farben wegen vorzüglich als Tapeten, Möbelstoffe 2c. empfehlen; diese Verwendung beurkundet gleichfalls die hohe Elasticität des Glases.

Fig. 16.



25. Bestimmung der Elasticität. Durch vielseitige Versuche von s'Gravesande, Coulomb, Hooke und Andern ist außer Zweifel gestellt, daß die Verrückungen, welche die Theile eines gleichförmig elastischen Körpers innerhalb seiner Elasticitätsgrenze durch äußere (Zieh-, Druck-, Bieg- oder Torsions-) Kräfte erfahren, der Größe dieser Kräfte direkt proportional sind, so daß eine doppelte, dreifache u. s. w. nfache Kraft auch eine 2, 3 u. s. w. nmal größere Verrückung bewirkt. Eine Stahlstange, die durch eine Belastung von 100 Pfd. eine Verlängerung oder eine Verkürzung um $^1/_{100}$ Zoll erfährt, wird durch 200 und 300 Pfd. um $^2/_{100}$ und $^3/_{100}$ Zolle verlängert oder verkürzt.

Die Elasticität (Spannkraft, Federkraft) eines Körpers ist offenbar desto größer, einer je größeren äußeren Kraft es unter übrigens gleichen Umständen zur Verrückung der Theilchen um eine bestimmte Größe bedarf, oder je kleiner die Verrückung ist, welche durch eine äußere Kraft von bestimmter Größe bewirkt wird . . . (†). Die Elasticität wird daher der Größe nach durch das Verhältniß der Kraft zu der durch sie bewirkten räumlichen Veränderung bestimmt. Dem zu

Folge ist es leicht, die Elasticitäten zweier oder mehrerer Körper zu vergleichen. Haben zwei Körper gleiche Länge und gleiche Querschnitte, sind aber von verschiedener materieller Beschaffenheit, so findet man das Verhältniß ihrer Elasticitäten in nachstehender Weise: Bezeichnet **A** die Ausdehnung, welche der eine Körper (M_1) durch die Kraft **P**, und a die Ausdehnung, welche der zweite Körper (M_2) durch die Kraft p erfährt (es kann natürlich immer nur von einer Ausdehnung innerhalb der Elasticitätsgrenze die Rede sein), und man denkt sich noch einen dritten Körper (M_3) von ganz gleichen Dimensionen mit den zwei andern und von solcher Beschaffenheit hinzu, daß die Kraft **P** an demselben eine Ausdehnung a bewirkt, drückt ferner die Elasticitäten der Größe nach für die drei Körper durch **E**, e und E_1 aus und stellt alle diese Größen der leichteren Uebersicht wegen in folgender Art zusammen:

M_1	M_2	M_3
P	p	P
A	a	a
E	e	E_1,

so ergibt sich durch Vergleichung des Körpers M_1 mit M_3, $E : E_1 = a : A$; denn da auf beide Körper gleicher Dimensionen die nämliche Kraft (P) wirkt, so muß jener eine größere Spannkraft besitzen, bei welchem diese Kraft **P** eine kleinere Ausdehnung bewirkt, d. h. die Spannkräfte oder Elasticitäten beider Körper und die bewirkten Ausdehnungen sind einander umgekehrt proportional. Vergleicht man den Körper M_3 mit M_2, so hat man $E_1 : e = P : p$; denn bewirken an zwei Körpern von gleichen Dimensionen zwei verschiedene Kräfte **P** und p gleich große Ausdehnungen (a, a), so muß nach (†) die Spannkraft desjenigen Körpers größer sein, bei dem es zur nämlichen Ausdehnung einer größeren Kraft bedarf. Spannkräfte und einwirkende Kräfte stehen demnach hier in geradem Verhältnisse. Macht man nun aus den obigen zwei Proportionen durch Multiplikation eine einzige, so erhält man:

$$E : e = Pa : pA \text{ oder } E : e = \frac{P}{A} : \frac{p}{a} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

d. h. die Spannkräfte zweier Körper aus verschiedener Materie, aber von gleichen Dimensionen verhalten sich gerade wie die einwirkenden Kräfte, und verkehrt wie die durch diese Kräfte verursachten Ausdehnungen. Daß die Proportion (6) ebenso für zusammendrückende, wie für dehnende Kräfte gilt und daß bei Substituirung besonderer Werthe für die allgemeinen Größen **P**, p, **A** und a sowohl die Kräfte nach der nämlichen Einheit (z. B. Pfunde) benannt, als auch die durch sie bewirkten Ausdehnungen oder Zusammendrückungen in denselben Maßen (z. B. Zollen) ausgedrückt sein müssen, versteht sich von selbst. Haben die Körper M_1 und M_2, für welche das Verhältniß der Elasticität **E**, e ausgemittelt werden soll, ungleiche Dimensionen und zwar die Längen **L**, l und die Querschnitte **Q**, q, und man bezeichnet die Ausdehnung, welche der Körper M_1 durch die Kraft **P** erfährt, mit **A** und jene des Körpers M_2 durch die Kraft p mit a, nimmt ferner zum Behufe einer ähnlichen Vergleichung wie im vorigen Falle, noch drei andere Körper M_3 M_4 und M_5, deren Verhalten zu den zwei Körpern M_1 und M_2 (rücksichtlich der Länge, des Querschnittes, der auf sie wirkenden Kräfte und der an ihnen erzeugten Ausdehnungen) man aus folgender Zusammenstellung leicht entnimmt,

M_1	M_3	M_4	M_5	M_2
L	L	L	L	l
Q	Q	Q	q	q
P	P	p	p	p
A	a	a	a	a
E	E_3	E_4	E_5	e

so hat man, wenn der Reihe nach zuerst die Körper M_1 und M_3, dann M_3 und M_4, nachher M_4 und M_5 und endlich M_5 und M_2 verglichen werden, $E : E_3 = a : A$ . . (I); $E_3 : E_4 = P : p$ . . (II); $E_4 : E_5 = q : Q$ . . (III); $E_5 : e = L : l$ . . (IV). Werden diese vier Proportionen mit einander muliplicirt, so ergibt sich $E : e = aqPL : AQpl$ oder $E : e = \frac{PL}{AQ} : \frac{pl}{aq}$ . . . . (7) d. h. die Spannkräfte zweier Körper derselben materiellen Beschaffenheit, aber von ungleicher Länge und ungleichem Querschnitte stehen in geradem Verhältnisse mit den einwirkenden Kräften und mit den Längen, aber im verkehrten Verhältnisse mit den erzeugten Ausdehnungen und mit den Querschnitten. Auch in dieser Proportion (7) müssen natürlich, wenn sie einen Sinn haben soll, bei Substituirung besonderer Werthe die gleichartigen Größen (Kraft und Kraft, Länge und Länge, Querschnitt und Querschnitt, endlich Ausdehnung und Ausdehnung) durch die gleiche Einheit ausgedrückt sein. Ebenso versteht es sich von selbst, daß P, p ausdehnende oder zusammendrückende Kräfte, mithin A, a Ausdehnungen oder Zusammendrückungen bedeuten können.

Zur Rechtfertigung der vorstehenden Proportionen (I) bis (IV) mag Folgendes dienen:

Ad (I). Von den zwei Körpern M_1 und M_3, bei welchen die Längen, die Querschnitte und die einwirkenden Kräfte gleich sind, muß jener eine größere Spannkraft haben, der eine geringere Ausdehnung erfährt.

Ad (II). Von den Körpern M_3 und M_4, bei welchen Längen und Querschnitte gleich sind und welche durch die verschiedenen Kräfte (P, p) eine gleiche Ausdehnung (a) erfahren, muß derjenige eine größere Spannkraft besitzen, bei dem es zu Erzielung der nämlichen Ausdehnung einer größeren Kraft bedarf.

Ad (III). Wenn an zwei Körpern, die gleich lang sind, wovon aber der eine A_1 einen zweimal oder dreimal so großen Querschnitt hat, als der andere A_2 durch die nämliche Kraft gleiche Ausdehnungen bewirkt werden sollen, so muß offenbar bei dem zweimal, dreimal dickeren Körper die der dehnenden Kraft entgegenwirkende Spannkraft nur die Hälfte, das Drittel der Spannkraft des dünneren Körpers sein; denn sonst könnte sich diese Spannkraft bei dem dickeren Körper A_1, der aus zwei oder drei nebeneinander gelagerten Körpern A_2 zusammengesetzt betrachtet werden kann, nicht von der nämlichen Gewalt überwältigen lassen. Es sind also die Elasticitäten der zwei Körper M_4 und M_5 ihren Querschnitten umgekehrt proportinal.

Ad (IV). Läßt sich von zwei Körpern, die einen gleich großen Querschnitt, aber ungleiche Längen haben, der kürzere durch eine bestimmte Kraft um die nämliche Größe verlängern, wie der längere, so muß er (der kürzere Körper) der dehnenden Kraft durch seine Spannkraft einen geringeren Widerstand entgegensetzen, d. h. der kürzere Körper muß auch eine geringere Spannkraft äußern, oder die Längen und Spannkräfte der Körper stehen unter übrigens gleichen Umständen im direkten Verhältnisse.

26. Elasticitäts-Modulus. Nach Thom. Young's Beispiel drückt man gewöhnlich die Elasticität eines festen Körpers durch das in Pfunden angegebene Gewicht aus, welches als Belastung erforderlich wäre, um ein Prisma aus diesem Körper von irgend einer bestimmten Länge und von 1 □ Zoll Querschnitt um eine seiner ganzen Länge gleiche Größe auszudehnen (vorausgesetzt, daß es sich innerhalb der Elasticitätsgrenze so weit ausdehnen ließe). Man findet dieses Gewicht, welches Modulus (Modul) der Elasticität genannt und mit **M** bezeichnet wird, indem man durch Versuche die Belastung ermittelt, welche im Stande ist, ein Prisma von irgend einer Länge und 1 □ Zoll Querschnitt aus dem betreffenden Körper um eine bestimmte Größe (z. B. um den hundertsten, tausendsten Theil u. s. w. seiner Länge), versteht sich wieder innerhalb der Elasticitätsgrenze, auszudehnen und dann diese erforderliche Belastung so oftmal nimmt, als die Größe, um welche die Ausdehnung erfolgte, in der ganzen Länge des Prisma's enthalten ist. Fände man z. B. durch einen Versuch, daß ein Prisma aus bestimmtem Stoffe von 1 Fuß Länge und 1 □ Zoll Querschnitt durch eine Belastung von 1000 Pfd. um $^1/_{100}$ Fuß ausgedehnt werde, so würden (nach dem im §. 25 ausgesprochenen Satze, daß nämlich die Verrückungen der Körpertheilchen den sie bewirkenden Kräf-

ten proportional sind), zur Ausdehnung des Prisma's um seine ganze Länge, d. i. um 100 × $^1/_{100}$ Fuß eine Belastung von 100 × 1000 = 100,000 Pfd. erforderlich sein, und diese Belastung ist der Elasticitäts-Modul. Kennt man diesen (M) für irgend ein Materiale, und kennt ferner die Elasticitätsgrenze (G) (d. i. die Grenze, über welche hinaus die Ausdehnung des Prisma's durch eine Kraft nicht gehen darf, wenn dasselbe nach Aufhören dieser Kraft seine vorige Länge vollkommen wieder annehmen soll, wo diese Grenze in aliquoten Theilen der Prisma-Länge ausgedrückt ist), so kann die Elasticitätsgröße (x), (d. i. die Kraft, welche auf das Prisma noch einwirken darf, ohne daß es die Fähigkeit verliert, nach Beseitigung dieser Kraft zur vorigen Länge vollkommen wieder zurückzukehren) nach dem im §. 25 ausgesprochenen Satze berechnet werden. Es ist nämlich M : x = 1 : G, daher x = MG. In folgender Tabelle findet man für die in der Anwendung wichtigsten Materialen den Elasticitäts-Modul und die Elastitätsgrenze.

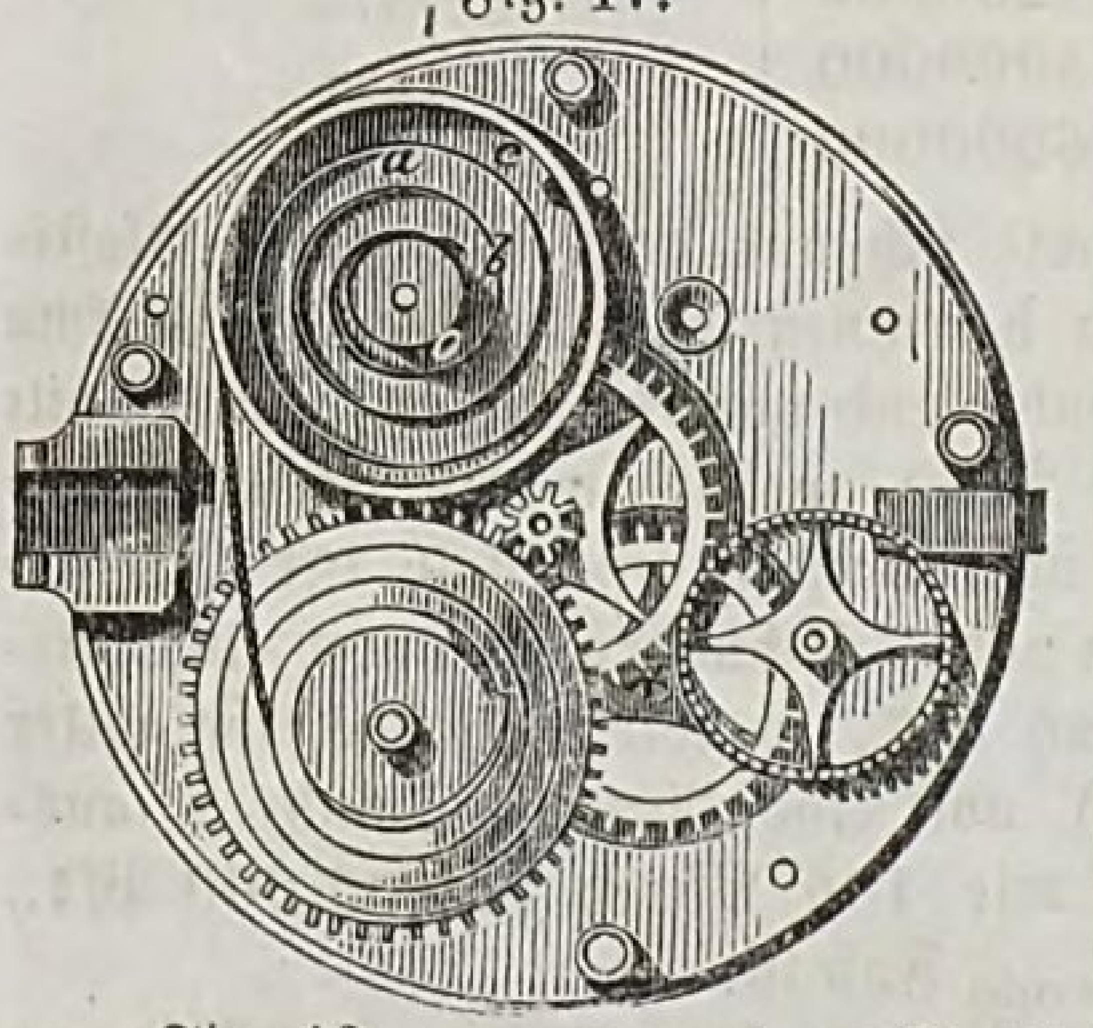
Materialien.	Elasticitäts-Modulus.	Elasticitätsgrenze.
Buchenholz (Roth-) . .	1210000 — 1360000	$^1/_{570}$
Eichenholz	1300000 — 1480000	$^1/_{430}$
Eschenholz	1240000 — 1400000	$^1/_{885}$
Fichtenholz	1600000 — 2000000	$^1/_{470}$
Lärchenholz	930000 — 1280000	$^1/_{540}$
Tannenholz (Weiß-) . .	1250000 — 1850000	$^1/_{500}$
Ulmenholz	1150000 — 1230000	$^1/_{414}$
Schmiedeisen	22000000 — 25000000	$^1/_{1387}$
Gußeisen	11400000 — 16000000	$^1/_{2580}$

Man sieht zugleich aus dem Vorstehenden, wie sich aus dem bekannten Elasticitäts-Modul einer Substanz die Ausdehnung berechnen läßt, welche ein Prisma dieser Substanz von der Länge = 1 (1 Schuh) und von 1 □ Zoll Querschnitt durch irgend eine dehnende Kraft p (z. B. 100 Pfd.), welche die aus Versuchen bekannte Elasticitätsgröße dieser Substanz nicht überschreitet, innerhalb der Elasticitätsgrenze erfährt; denn dehnt sich ein Prisma von 1 Schuh Länge unter einer Belastung von 100,000 Pfund (M) um 1 Schuh aus, so wird sich dasselbe unter einer Belastung von p (z. B. 100 Pfund) um eine Anzahl Schuhe a ausdehnen, die sich zu 1 Schuh ebenso verhält, wie 100 Pfund zu 100,000 Pfd., so daß a : 1 = 100 : 100,000, also a = $^1/_{1000}$ Fuß ist.

Man erhält daher die Ausdehnung (a), die ein Prisma irgend einer Substanz von 1 Fuß Länge und 1 □ Zoll Querschnitt durch eine Kraft p erfährt, mittelst der Gleichung $a = \frac{p}{M}$ und zwar immer in Theilen derselben Längeneinheit ausgedrückt, auf welche sich der Modul bezieht. Zur Bestimmung der Ausdehnung a′, die ein Prisma, dessen Länge lmal größer oder kleiner ist (als die dem Modul zu Grunde liegende Einheit) und dessen Querschnitt q □ Zolle beträgt, unter der Einwirkung derselben Kraft p erleidet, dient dann offenbar die Gleichung $a' = \frac{pl}{Mq}$. (8) denn bei einem 2mal und 3mal längeren Prisma beträgt (unter übrigens gleichen Umständen) die Ausdehnung auch das Zweifache und Dreifache, und bei einem z. B. 10mal größeren Querschnitte kann durch die nämliche Kraft nur eine 10mal kleinere Ausdehnung bewirkt werden. Ist l wieder die Länge des Prisma's, der Querschnitt aber 1 □ Zoll, so ist, wenn die durch die Kraft p bewirkte Ausdehnung a″ heißt, $a'' = \frac{pl}{M}$.

27. Die Elasticität modificirende Umstände. In Körpern, die an allen Stellen eine gleiche Beschaffenheit haben (d. i. in gleichartigen Körpern) ist auch die Elasticität an allen Stellen gleich groß; in ungleichartigen und in krystallisirten Körpern hingegen ist die Elasticität an einigen Stellen größer oder kleiner, als an andern. Hölzer besitzen in der Richtung der Fasern eine größere Elasticität, als in einer darauf senkrechten Richtung. Uebrigens besitzt ein und derselbe Körper nicht unter allen Umständen den nämlichen Grad von Elasticität, sondern dieser Grad kann durch eine gewisse Behandlung des Körpers auffallend geändert werden: so wird Messing durch entsprechendes Hämmern so elastisch, daß es zu Federn verwendet werden kann. Durch Erhitzen und darauf folgendes Abkühlen wird beim Stahl die Elasticität bedeutend erhöht, bei Kupfer und Messing hingegen beinahe ganz vernichtet. Sehr große Veränderung im Elasticitätsgrade und meistens eine beträchtliche Erhöhung desselben bewirkt bei Metallen die chemische Verbindung derselben unter einander und mit andern Stoffen. Dies ist der Fall bei dem wenig elastischen Eisen durch Verbindung mit Kohlenstoff zu Stahl; bei Kupfer und Zinn, die an und für sich in geringem Grade elastisch sind, chemisch verbunden aber das äußerst elastische Glockengut darstellen. Die Elasticität sehr schwächend ist eine anhaltende Einwirkung einer äußern, die Verrückung der Theilchen verursachenden Kraft, wie man an einer Feder, an einem Bogen, die längere Zeit in starker Spannung erhalten wurden, deutlich sieht. Alles, was die Dichte der Metalle ändert, modificirt auch ihre Elasticitätsgröße und diese nimmt mit wachsender Temperatur ab.

Fig. 17.



Anwendungen der Elasticität. Von der Elasticität oder Spannkraft fester Körper werden häufige Anwendungen gemacht; es können davon hier aber nur einige wenige angedeutet werden. Die Spannkraft wird benützt:

1. Als bewegende Kraft. Die spiralförmig zusammengewundene Stahlfeder a (Fig. 17) im Innern des Federhauses einer Taschen- oder Stockuhr setzt durch die Kraft, mit der sie sich aufzuwinden strebt, das Federhaus (an dessen Umfang sie mit einem Ende c festgemacht ist, während ihr anderes Ende b an der fixen Welle o, um welche das Federhaus sich dreht, befestigt ist) und durch das Federhaus das damit durch die Kette oder durch Verzahnung verbundene übrige Uhrwerk in Bewegung. — Schraubengangförmig gewundene Federn (Spiralfedern) aus Draht dienen an mancher Maschine, z. B. am mechanischen Webstuhl dazu, einzelne Maschinentheile, die durch die bewegende Kraft unter Dehnung oder Zusammendrückung der Feder aus ihrer Stellung gebracht worden sind, durch Zug oder Druck immer wieder in diese ihre Stellung zurückzuführen. Eine Feder setzt am Flintenschlosse den abgedrückten Hahn in Bewegung, und macht am Thürschlosse die Falle stets in den Schloßkloben einschnappen.

Fig. 18.



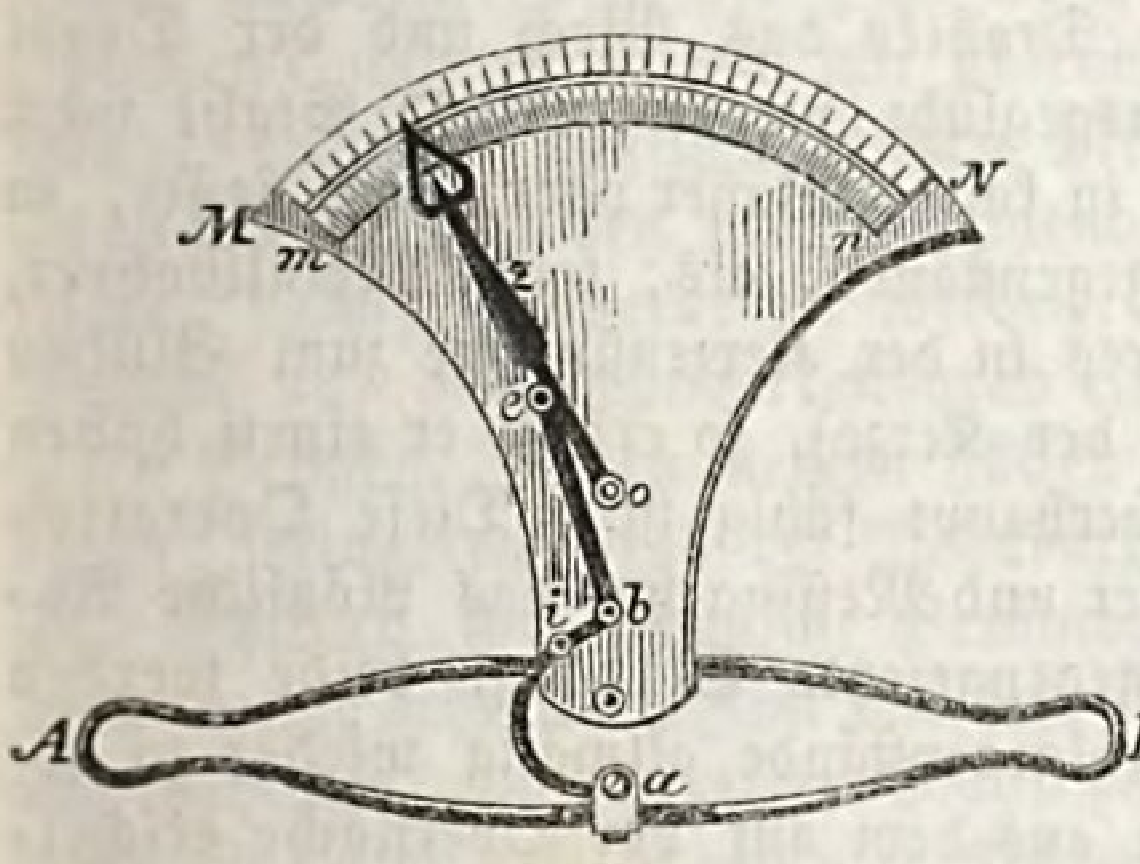
2. Zur Entkräftung und Unschädlichmachung heftiger Stöße, wie dies die, die Wagenkästen tragenden Federn, die Federn, auf welche die Buffer an den Eisenbahnwägen wirken, und die verschiedenen zum Einpacken zerbrechlicher Gegenstände dienenden Stoffe, als Heu, Stroh u. s. w. thun.

3. Zum Wägen der Körper an der sogenannten Federwage (Fig. 18). Indem die ovale Stahlfeder a durch die am unteren Haken i aufgehängte abzuwägende Last A in vertikaler Richtung auseinander und in horizontaler Richtung zusammen gezogen wird, wirkt der an der Feder festgemachte Arm c auf den um o drehbaren Zeiger z, dessen rechtwinklig abwärts gebogenes Ende mit c in einem Gelenke vereinigt ist, und setzt die Spitze dieses Zeigers auf der Scale eines ebenfalls an der Feder befestigten Kreisbogens in Bewegung. Sind die einzelnen Theilpunkte der Scale da-

durch bestimmt worden, daß man an den Haken i von dem kleinsten Gewichte, für welches die Feder a noch empfindlich genug ist, angefangen, nach und nach immer größere Gewicht angehängt, und den jedesmaligen Stand des Zeigers auf dem Kreisbogen markirt hat; so wird, wenn beim Gebrauche der Federwage eine an den Haken i gehängte Last den Zeiger z z. B. bis auf den, 4 Pfunden entsprechenden Theilstrich der Scale hebt, das Gewicht dieser Last offenbar 4 Pfd. gleich sein.

4. Zum Messen der Zug- und Druckkräfte z. B. der Menschen und Thiere an dem Kraftmesser oder Dynamometer (Fig. 19). Wird die sehr gestreckte ovale Stahlfeder AB durch irgend eine Zugkraft nach der Längenrichtung ausgedehnt oder durch eine Druckkraft (z. B. der Hände) in der Querrichtung ab zusammengedrückt, so wird der um b drehbare Winkelhebel ibe und zwar mittelst des einerseits mit der Feder und andererseits mit dem Winkelhebel in Gelenken a und i vereinigten, krummen Armes ai in Bewegung gesetzt, und dadurch die Spitze des um o mit Reibung drehbaren Zeigers z auf der Scale des Kreisbogens MN mehr oder weniger fortgeschoben. Ist die Eintheilung der Scale empirisch, etwa dadurch gemacht worden, daß man auf die Feder, während ihre Ebene vertikal, ihre große Achse aber horizontal lag, MN abwärts gekehrt und der dem a gegenüberliegende Punkt der Feder unterstützt war, im Punkte a nach und nach immer größere Gewichte aufgelegt, und den jedesmaligen Stand des fortgeschobenen Zeigers auf dem Kreisbogen MN markirt hat; so wird, wenn beim Gebrauche dieses Instrumentes die Feder AB z. B. durch die Muskelkraft des Menschen so stark zusammengedrückt würde, daß die äußerste Spitze des Zeigers z. B. bis auf den mit 60 Pfd. bezeichneten Theilstrich geschoben wird, die ausgeübte Kraft offenbar dem Drucke von 60 Pfunden gleich sein. Da zum Ausdehnen der Feder nach der Richtung der großen Achse weit größere Kräfte erforderlich sind, als zu ihrer Zusammendrückung in der Richtung ab, so kann die Scale MN nicht zugleich für Zugkräfte dienen, sondern für diese muß, und zwar wieder empirisch, eine eigene Scale mn bestimmt werden. Zu diesem Behufe wird die Feder an dem einen Ende z. B. A vertikal aufgehängt, am andern Ende B nach und nach mit immer größeren Gewichten belastet, und der jedesmalige Stand der kleinen Spitze im herzförmigen Ende des Zeigers auf dem Kreisbogen mn markirt. Gewöhnlich wird die äußere Scale MN nach Pfd., und die innere mn nach Centnern getheilt. — Bei dem eben beschriebenen von Regnier angegebenen Kraftmesser bleibt der Zeiger z immer dort stehen, wohin er durch das Maximum (die größte Stärke) der angewendeten Kraft vermittelst des Armes be geschoben wurde. Der Kraftmesser zeigt demnach immer das Maximum der Kraftanstrengung an. Da nun dieses Maximum (z. B. der Zugkraft eines Pferdes) während des Versuches vielleicht nur einen Augenblick lang stattgefunden, und somit gar keinen praktischen Werth hat, indem es sich in der Praxis meistens um die mittlere Wirkung einer Kraft handelt, so sind die Angaben des beschriebenen Instrumentes in den wenigsten Fällen brauchbar. Deswegen hat Burg dasselbe dahin verbessert, daß der Zeiger z beim Nachlassen der einwirkenden Kraft nicht stehen bleibt, sondern auf der Scale in dem Maße zurück und wieder vor geht, in welchem die Kraft ab- und zunimmt. Der Zeiger führt ferner eine Bleifeder, die durch ein kleines am Zeiger befestigtes Uhrwerk in einem Schlitz des Zeigers langsam seiner Länge nach abwärts bewegt wird, und somit auf einem, in eine Vertiefung der Scaleplatte eingelegten, kreisbogenförmigen Papier- oder Pergamentstücke beim Rück- und Vorwärtsgehen des Zeigers eine gezackte Linie verzeichnet. Eine mitten durch die einzelnen Zacken gehende und bis an die Scale verlängerte Linie zeigt die mittlere Kraft an. (Eine genaue Beschreibung dieser Verbesserung findet man in den Verhandlungen des n. ö. Gewerbsvereins, 8. Heft 1843.)

Fig. 19.



28. Härte und Weichheit. Bedarf es zur Verrückung oder Verschiebung der Theilchen eines festen Körpers einer großen äußern Kraft, so heißt der Körper hart, im entgegengesetzten Falle weich. Eisen, Glas, Holz sind harte, Blei, Wachs u. s. w. sind weiche Körper. Die Eigenschaft der Härte findet sich an den Körpern in sehr verschiedenem Grade. Von zwei Körpern heißt jener härter, dessen Theile bei Anwendung einer entsprechenden Kraft zwischen die Theile des andern Körpers eindringen, d. h. welcher den andern Körper ritzt, selbst aber von diesem nicht geritzt wird. Eisen ist härter, als Kupfer, Kieselstein härter als Kalkstein, und

der härteste aller bekannten Körper ist der Diamant. — Selbst die nämlichen Körper nehmen unter verschiedenen Bedingungen einen verschiedenen Härtegrad an. Viele unorganische Körper werden durch Verdichten (Näherbringen ihrer Theile) härter, es mag dieses Näherbringen der Theile durch Druckkräfte, durch Abnahme der Wärme oder, wie beim Thone, durch Verjagen der Feuchtigkeit (beim Trocknen und Brennen) geschehen. Mehrere Metalle, z. B. Silber, Messing, Eisen u. s. w. werden durch Hämmern, Walzen, Ziehen zu Draht u. s. w. härter, durch nachheriges Glühen und langsames Abkühlen aber wieder weicher. Deswegen muß beim Walzen des Bleches und beim Ziehen des Drahtes das Blech und der Draht vor jeder neuen Streckung immer wieder ausgeglüht werden. Wird Stahl weiß glühend gemacht und dann durch Eintauchen in kaltes Wasser oder, noch besser, in eine Säure schnell abgekühlt (kleinere Stahlgegenstände, als: feine Metallbohrer, Grabstichel u. dgl., die mittelst des Löthrohres in der Kerzenflamme zum Glühen gebracht werden, steckt man in das Unschlitt der Kerze), so erhält er einen hohen Grad von Härte, den höchsten, dessen er überhaupt fähig ist. (Diese Operation heißt das Härten des Stahls.) Bei Kupfer und Messing hat das plötzliche Abkühlen nach starkem Erhitzen gerade die entgegengesetzte Wirkung, beide werden nämlich weicher. Werden die gehärteten Stahlgegenstände allmälig wieder zu geringerem oder größerem Grade, welchen man aus dem auf der Oberfläche erscheinenden Farbenton erkennt, erwärmt, so nimmt ihre Härte eben so allmälig wieder ab, und man kann ihnen durch ein solches Erwärmen und abermaliges plötzliches Abkühlen, ein Verfahren, welches das Anlassen des Stahles heißt, den für ihren technischen Gebrauch geeignetsten Härtegrad geben. Das geringste Anlassen geht bis zur hell strohgelben Farbe, wobei die Härte nur wenig gemildert ist; mit den bei stets stärkerer Erwärmung nacheinanderfolgenden dunkelgelben, karmesinrothen, violetten, dunkelblauen und hellblauen Farben ist immer eine geringere Härte verbunden, bis endlich beim Erscheinen des Grauschwarz alle Härtung wieder verschwunden ist. Eisen ist in Bezug auf Härte ganz ähnlicher Veränderungen fähig wie Stahl, jedoch treffen diese dann nur die Oberfläche, während sie beim Stahl durch die ganze Masse hindurchgehen. Die Härte der Körper wird ferner durch ihre Verbindung mit andern Substanzen sehr bedeutend verändert, oft vermehrt, oft aber auch vermindert. So gibt das mäßig harte Kupfer, mit dem härteren Zink vereinigt, das weiche Messing, und mit dem weichen Zinn das harte Glockengut und bei einem andern Mischungsverhältnisse das ungleich härtere Spiegelmetall. Das Eisen wird durch Zusatz von $^1/_{100}$ Kohlenstoff zu hartem Stahl, und von $^2/_{100}$—$^4/_{100}$ Kohlenstoff zu noch härterem Gußeisen. Mit Schwefel verbunden, ist Eisen im Schwefelkiese so hart, daß man an letzterem, wie am Feuersteine mit Stahl Feuer schlagen kann. Gußstahl wird durch Zusammenschmelzen mit sehr wenig ($^1/_{500}$) Silber oder ($^1/_{200}$) Rhodium (ein in den Platinerzen vorkommendes Metall) einer größeren Härte (und zugleich auch Festigkeit) fähig, und der unter dem Namen Wootz aus Ostindien kommende Stahl soll seine beträchtlichere Härte der Anwesenheit von etwas Aluminium (der metallischen Grundlage der Alaunerde) verdanken.

29. Dehnbarkeit. Geht die Verschiebung der Theilchen eines Körpers über dessen Elasticitätsgrenze hinaus, so dauert entweder ihr Zusammenhang noch fort, — dann nehmen sie gegenseitig eine andere, von der vorigen verschiedene, bleibende Stellung an, und besitzen in derselben oft wieder einen gewissen Grad von Elasticität, — oder es hört der Zusammenhang der Theilchen auf, es tritt eine gänzliche Trennung derselben ein. Körper, welche eine bedeutende Verschiebung ihrer Theilchen über die Elasticitätsgrenze hinaus ohne Aufhebung des Zusammenhanges gestatten, werden zähe, und je nach Beschaffenheit der äußeren Kraft, durch welche sich die besagte bleibende Verschiebung der Theilchen bewerkstelligen läßt, dehnbar (ductil), geschmeidig, streckbar, hämmerbar genannt.

Der Grad der Zähigkeit oder Dehnbarkeit, welcher durch die Grenze der Dehnbarkeit, d. i. die Grenze, bis zu welcher sich die Ausdehnung oder Streckung ohne Aufhebung des Zusammenhangs der Theilchen höchstens treiben läßt, bestimmt wird, ist bei verschiedenen Körpern, ja selbst bei einem und demselben Körper unter verschiedenen Umständen verschieden. So sind Zink, Wismuth, Kolophonium, Glas bei niedriger Temperatur nicht, bei hinreichend hoher Temperatur (bei welcher sich z. B. Zink zu papierdünnen Platten auswalzen, zu Draht ziehen, und Glas, nachdem es in der Hitze weich geworden, zu den feinsten Fäden ausdehnen (spinnen) und zu Kugeln mit überaus dünnen Wänden aufblasen läßt) in hohem Grade dehnbar, dagegen besitzen Messing und Zinn bei niedrigen, nicht aber bei, ihren Schmelzpunkten nahe kommenden Temperaturen Dehnbarkeit; Gummi, thierischer Leim, Thonerde 2c. werden durch Feuchtigkeit dehnbar, und sehr großen Einfluß auf den Dehnbarkeitsgrad eines Körpers nimmt Vermischung mit fremdartigen Stoffen. In den meisten Fällen besitzt das Gemische (die chemische Verbindung) einen geringeren Grad der Dehnbarkeit, als die Bestandtheile. Kupfer und Zinn sind dehnbar, ihre chemische Verbindung, die Glockenspeise, nicht; Kupfer gibt mit dem wenig dehnbaren Zink das sehr dehnbare Messing. Reines Eisen ist äußerst zähe und dehnbar; ungehärteter Stahl (Eisen mit etwas Kohlenstoff) gleichfalls, Roh- oder Gußeisen (Eisen mit viel Kohlenstoff) hingegen nicht.

Im bewunderungswürdigen Grade kommt die Dehnbarkeit dem Golde und dem Platin zu. Bei dem gewöhnlichen, zum kalten Vergolden dienenden Blattgolde ist ein Gran Gold von der Größe eines kleinen Sandkorns unter dem Hammer des Goldschlägers zu einer Fläche von 36,5 □ Zollen ausgedehnt worden. — Noch weit auffallender zeigt sich die Dehnbarkeit (Ductilität) des Goldes bei Verfertigung der feinen Drähte, woraus die Lyoner Treffen bestehen, und welche eigentlich nur vergoldete Silberdrähte sind. Man erhält diese Drähte, indem eine Silberstange von 15‴ Durchmesser und 22″ Länge mit einer Unze Goldes gleichförmig dick überzogen und nachher mittelst des Drahtzieheisens zu immer feinerem Drahte ausgezogen wird. Dieser Draht wird dann um Seide herum gesponnen, und deswegen vorher mit Stahlwalzen plattgedrückt; er hat nun eine Länge von 60 geogr. Meilen, und sein überall ununterbrochener Goldüberzug ist an den dünnsten Stellen nur $1/_{500000}$ paris. Linie dick. — Die außerordentliche Dehnbarkeit des Platins macht es möglich, nach einem zuerst von Wollaston angegebenen Verfahren aus diesem Metalle so feinen Draht zu ziehen, daß derselbe mit freiem Auge kaum mehr sichtbar ist. Wollaston nahm eine cylindrische, $1/_3$ Zoll weite Form (z. B. von Thon), befestigte in ihrer Achse einen Platindraht von $1/_{100}$ Zoll Dicke, und goß dann die Form mit Silber aus. Der so erhaltene, $1/_3$ Zoll dicke Silbercylinder wurde nun vermittelst des Drahtzieheisens allmälig bis zu solcher Dünnheit ausgezogen, daß der in der Achse des Silberdrahtes enthaltene Platindraht nur noch $1/_{6000}$ Zoll dick war. Weiter läßt sich die Feinheit des Platindrahtes nicht wohl treiben, weil er sonst nicht mehr überall zusammenhängend ist. Um die Silberhülle von dem Platindrahte zu entfernen, braucht man den Silberdraht nur in Scheidewasser zu tauchen, welches das Silber verzehrt, und den Platindraht für sich zurückläßt. — Auf der Dehnbarkeit des Silbers, Kupfers, Zinns und Bleies beruht die Erzeugung des Blattsilbers, des unechten Blattgoldes mittelst des Hammers, des Staniols und des Rollblei's mittelst des Hammers oder mittelst Walzen. — Unter den weichen Stoffen steht in Bezug auf Dehnbarkeit die in Warzen am Hintertheil der Spinnen enthaltene Substanz oben an, aus welcher diese Thiere die unendlich feinen Spinnengewebe-Fäden spinnen.

30. Sprödigkeit. Der Elasticität und der Dehnbarkeit entgegengesetzt ist die Sprödigkeit. Spröde heißt man nämlich jene festen Körper, bei welchen schon eine geringe Verschiebung der Theile eine Trennung der letzteren, eine Aufhebung des Zusammenhanges zur Folge hat. Auch diese Eigenschaft, welche mehr oder weniger Härte voraussetzt, findet sich an verschiedenen Körpern in höherem oder geringerem Grade, und kann oft bei einem und demselben Körper durch eine gewisse Behandlung hervorgerufen, gesteigert, vermindert oder aufgehoben werden. Im Allgemeinen erzeugt alles, was die Elasticität und Dehnbarkeit der festen Körper vermindert, zu hinreichendem Grade gesteigert, Sprödigkeit; den größten Einfluß übt aber auch hier wieder die Wärme. Sehr elastischer Stahl wird durch übermäßiges oder lange genug fortgesetztes Hämmern so spröde, daß er beim näch-

sten Hammerschlage in Stücke zerspringt. So wie Eisen durch Verbindung mit Kohlenstoff zu Gußeisen, und Kupfer durch Verbindung mit Zinn zu Glockengut härter werden, werden sie zugleich auch bedeutend spröde, so daß man sie mit dem Hammer leicht in viele Stücke zerschlagen kann. Eben so wird der Stahl durch Erhitzen bis zum Glühen und nachheriges Abkühlen in kaltem Wasser außerordentlich spröde. Das im warmen Zustande streckbare Zink besitzt bei niedriger Temperatur ziemlich große Sprödigkeit.

Am auffallendsten zeigt sich der Einfluß der Wärme in Rücksicht der Sprödigkeit beim Glase. Glas — das aus dem heißen Zustande, in welchem es in den Glashütten zu den verschiedenen Gefäßen und anderen Objekten verarbeitet wird, dadurch sehr allmälig zur Temperatur der atmosphärischen Luft abgekühlt wird, daß man diese Objecte von der Pfeife, mit der sie geblasen, oder aus den Formen, in denen sie gepreßt worden, weg in die sogenannten (immer noch sehr heißen) Kühlöfen bringt, und darin zugleich mit diesen Oefen bis zur Lufttemperatur langsam erkalten läßt — ist weit weniger zerbrechlich (spröde), als wenn es noch heiß an die kalte Luft gebracht wird, wodurch die Theilchen in eine so große (an der Oberfläche und im Innern der Masse ungleiche) Spannung treten, daß die geringste Trennung der Theilchen auch nur an einem Punkte die Aufhebung des Zusammenhangs durch die ganze Masse oder wenigstens durch einen großen Theil derselben nach sich zieht, wie dieß die sogenannten Bologneser Fläschchen (Fläschchen mit sehr dickem Boden, die nicht allmälig im Kühlofen, sondern plötzlich an freier Luft abgekühlt wurden), und die Glastropfen (auch Glasthränen oder Batavische Thränen genannt, die dadurch erzeugt werden, daß man das geschmolzene Glas noch glühend in kaltes Wasser tropfen läßt), so auffallend zeigen. Der feinste Ritz, den ein ins Fläschchen hineinfallen gelassener Feuersteinsplitter an irgend einem Punkte der Oberfläche macht, bewirkt, daß das Fläschchen nach allen Richtungen hin in viele Stücke zerspringt; und wird an dem mit einem (meistens) gebogenen Schwanz versehenen Glastropfen nur die äußerste Spitze dieses Schwanzes abgebrochen, so zerfällt der ganze Tropfen, welcher übrigens sehr starke Schläge mit einem Stück Holz verträgt, in grobes Glaspulver.

31. Festigkeit. Werden die Theile eines festen Körpers über die Grenzen seiner Dehnbarkeit hinaus verschoben, so erfolgt eine Trennung derselben und der Körper wird je nach Beschaffenheit der die Verschiebung bewirkenden Kraft zerrissen, zerbrochen, zerdrückt oder abgedreht. Den Widerstand (der Größe nach betrachtet), den ein Körper einer solcher Trennung seiner Theile entgegensetzt, nennt man die Festigkeit des Körpers und zwar die absolute, die relative, die rückwirkende oder die Drehungs- (Torsions-) Festigkeit, je nachdem man darunter den Widerstand gegen das Zerreißen, Zerbrechen, Zerdrücken oder Abdrehen versteht. Die Kraft, welche diesem Widerstande gerade gleich ist, somit um das Geringste vergrößert, eine wirkliche Trennung der Theile bewirkt, ist das Maß der Festigkeit. Es ist höchst wichtig, die Festigkeit derjenigen Materialien zu kennen, welche zur Construction der vielen, in den Künsten, in den Gewerben und im gesammten praktischen Leben in Anwendung kommenden Maschinen und Apparate dienen; denn nur dann ist man im Stande, den Bestandtheilen dieser Maschinen und Apparate ohne unnützen Aufwand an Materiale die nöthige Stärke zu geben.

32. Absolute Festigkeit (auch absolutes Tragvermögen genannt). Um diese zu bestimmen, wird der betreffende Körper an einem Ende (meistens in vertikaler Richtung) fest eingespannt und am andern Ende entweder mit Gewichten belastet, oder es wird auf dieses zweite Ende durch Vermittlung passender Maschinen eine Ziehkraft einwirken gemacht und die Belastung oder Ziehkraft allmälig, aber immer nur um sehr wenig, so lange vermehrt, bis ein Zerreißen eintritt. Das kleinste Gewicht oder die kleinste Kraft, bei welcher dieses Zerreißen erfolgt, vermehrt um das Gewicht des abgerissenen Stückes, kann dann sehr nahe als Maß der absoluten Festigkeit des zerrissenen Körpers angenommen werden. Sehr zahlreiche, in dieser Art angestellte Versuche haben nun gelehrt, daß die absolute Festigkeit eines Körpers unter übrigens gleichen Umständen und unter der Voraussetzung, daß die zerreißende Kraft nach der Längenrichtung also z. B. bei Höl-

zern den Fasern parallel wirkt, mit dem Querschnitte des Körpers im geraden Verhältnisse stehe. Demnach ist, wenn q und q' die in gleichen Flächeneinheiten, gewöhnlich in □ Zollen, ausgedrückten Querschnitte zweier (z. B. prismatischer) Körper aus einem und demselben Materiale, und f, f' ihre absoluten Festigkeiten (die kleinsten Belastungen, welche das Zerreißen zu bewirken vermögen) bedeuten, $f:f' = q:q' \ldots$ I); daher $f = \frac{f'}{q'} q$ und wenn $\frac{f'}{q'} = c$ gesetzt wird, $f = cq$ . . (9)
Der Werth von c läßt sich aber für jedes Materiale leicht durch Versuche bestimmen (er ist z. B. wenn man $q' = 1$ □ Zoll und f' eine Belastung in Wien. Pfunden sein läßt, = der in Pfunden ausgedrückten kleinsten Belastung, bei welcher ein Prisma von 1 □ Zoll Querschnitt zerreißt). Man erhält also dann nach Gleichung (9) die absolute Festigkeit irgend eines Körpers nach Pfunden, wenn man seinen kleinsten, in □ Zollen ausgedrückten Querschnitt (denn an diesem würde bei hinreichender Belastung das Zerreißen erfolgen) mit dem seiner Materie entsprechenden Werthe von c multiplicirt. Die folgende Tabelle enthält den Werth des Coefficienten c für die in der Anwendung wichtigsten Materialien. Die Zahlen dieser Tabelle bedeuten, für $q' = 1$ □ Zoll, Wien. Pfunde, sind also zugleich die in Wien. Pfunden ausgedrückten Belastungen, unter welchen die aufgezählten Materialien bei einem Querschnitte von 1 □ Zoll zerreißen. Bei Substituirung dieser Werthe von c in die vorstehende Formel (I) und in die zunächst nachfolgenden Formeln muß natürlich der Querschnitt q immer nur durch eine unbenannte Zahl, die dann Wien. □ Zolle bedeutet, und die andern vorkommenden Dimensionen und Belastungen (Gewichte) müssen in eben solchen Zahlen, die dann Wien. Zolle und Pfunde vorstellen, ausgedrückt werden.

Benennung der Körper.	Werth von c.	Benennung der Körper.	Werth von c.
Hölzer, Seile und Steine.		Metalle.	
Ahorn	16600	Blei (gegossen) . . .	800—1640
Birnbaum	8800—9800	Blei (gewalzt) . . .	1080—2250
Buche (Roth-) . . .	10400—19800	Eisen (Schmied-) . .	40000—60000
„ (Weiß-) . . .	17000—17900	Eisenblech (gewalzt) .	45000—50000
Eiche	9400—18700	Eisendraht	80000—83000
Esche	14000—16000	Eisen (Guß-) . . .	15000—20000
Fichte	8600—12000	Eisen-Clavierdraht . .	110000—160000
Kiefer	12000—16200	Kupfer (gehämmert) .	25000—34000
Lärche	7000—9000	Kupfer (gewalzt) . .	26000—32000
Linde	12200	Kupferdraht	34000—65000
Nußbaum	12600	Messing (Guß-) . .	16300
Tanne (Weiß-) . . .	10000—13600	Messingdraht . . .	53500—102800
Ulme	12000—13500	Packfong (hart gez.) .	92500—106400
Hanfseile (trockene) . .	6000—7500	Stahl	96000—124000
Hanfseile (nasse) . .	4600—5500	Zink (gegossen) . . .	2550
Stein (Portland-) . .	750	Zink (als Draht oder Blech)	17000—22000
Ziegel (Mauer-) . .	245	Zinn (gegossen) . . .	2900—5400
		Zinndraht	7400—6000

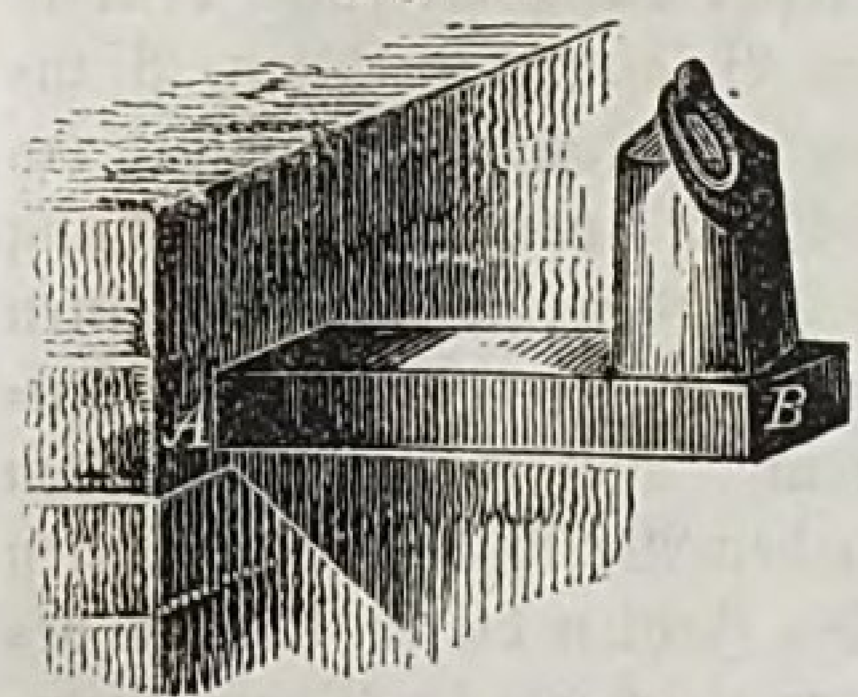
Sollen Körper verschiedener materieller Beschaffenheit rücksichtlich ihrer absoluten Festigkeiten mit einander verglichen werden, so müssen diese Festigkeiten vorher nach Formel (9) für gleiche Querschnitte berechnet werden.

In der Anwendung, wo es sich mehr um die Last handelt, welche ein Körper mit Sicherheit und andauernd tragen kann, als um die Kraft, die ihn zu zerreißen vermag, darf man von den Zahlen der vorstehenden Tabelle für Metalle

nur $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{6}$, für Hölzer nur $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$, ja wenn es sich um größte Sicherheit und lange Dauer handelt, oft nur $\frac{1}{10}$ und endlich für Stricke höchstens $\frac{1}{3}$ nehmen. Dem Zerreißen müssen Hanf- und Drahtseile, Ketten und Metallstangen (z. B. an den Kettenbrücken, an den Förderungsmaschinen in Bergwerken), Hängebalken u. s. w. widerstehen.

33. Relative Festigkeit. Die Bestimmung dieser Festigkeit, deren Maß die kleinste Kraft ist, die einen Körper zu zerbrechen vermag, ist vorzüglich bei prismatischen und cylindrischen Körpern wichtig. Ist ein prismatischer Körper mit rechteckigem Querschnitte, z. B. ein hölzerner Balken **AB** (Fig. 20) in horizontaler Richtung an dem einen Ende **A** unveränderlich befestigt, z. B. eingemauert, und er wird am andern Ende **B** so lange belastet, bis er abbricht, was immer am befestigten Ende **A** geschieht, so ist, wenn p die relative Festigkeit des Balkens, b die Breite, h die Höhe, l die Länge des Balkens in Wien. Zollen und c endlich den für das Materiale, woraus der Balken besteht, aus der vorstehenden Tabelle zu entnehmenden Werth bedeutet,

Fig. 20.



$$p = \frac{1}{6}\, c \frac{bh^2}{l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Die Rechtfertigung dieser Gleichung, so wie auch der zunächst folgenden Gleichungen muß in Werken über Mechanik (z. B. in Burg's Compendium der Mechanik und Maschinenlehre) gesucht werden. Ist die Last gleichförmig über die ganze Länge des Balkens vertheilt, so ist seine relative Festigkeit

$$p = 2 \cdot \frac{1}{6}\, c \frac{bh^2}{l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

Ein Balken kann also eine doppelt so große Last tragen, wenn diese, anstatt auf sein freies Ende allein zu wirken, über seine ganze Länge gleichförmig vertheilt ist. Wäre der horizontal befestigte und an einem Ende belastete Balken ein Cylinder und der in der nämlichen Einheit wie die Länge l ausgedrückte Halbmesser seines Querschnittes r bei voriger Bedeutung von p, l und c, so hätte man

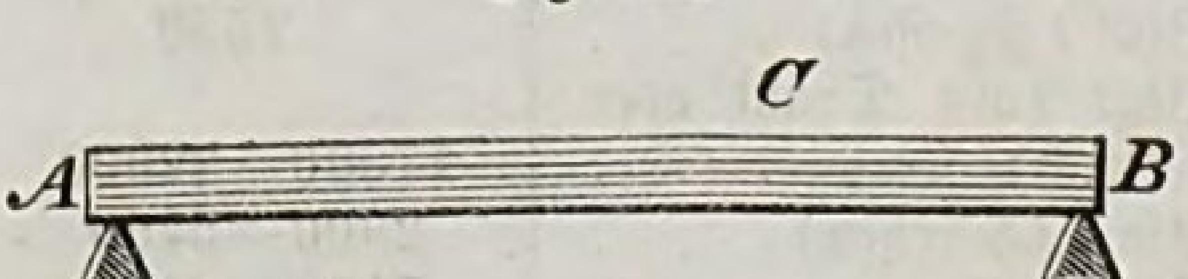
$$p = \frac{1}{4}\, c\, \frac{r^3 \pi}{} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

wo π die bekannte, das Verhältniß zwischen Durchmesser und Umfang eines Kreises ausdrückende Zahl 3,1415 .... ist. Wäre der Cylinder endlich hohl, r und r' sein äußerer und innerer Halbmesser und alles Uebrige wie vorher, so wäre

$$p = \frac{1}{4}\, c \frac{(r^4 - r'^4)\,\pi}{rl} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

Ist die Last nicht am Ende des Cylinders angebracht, sondern seiner ganzen Länge nach gleichförmig vertheilt, so steigt auch hier die relative Festigkeit auf's Doppelte. Liegt ein Balken **AB** (Fig. 21) von rechteckigem Querschnitte mit beiden Enden **A**, **B** horizontal auf Unterlagen frei auf und ist an irgend einem Punkte **C** seiner Länge belastet, so hat man für seine

Fig. 21.



relative Festigkeit p, die Gleichung $p = \frac{1}{6}\, cbh^2 \frac{l}{dd'} \quad \ldots\ldots \quad (14)$

wo c, b, h und l die nämliche Bedeutung haben, wie in den vorigen Gleichungen, d und d' aber die in der nämlichen Längeneinheit wie b, h und l ausgedrückten Distanzen des Punktes **C**, in welchem die Belastung des Balkens angebracht ist,

von den Unterstützungspunkten **A** und **B** bezeichnen. Es ist somit $l = d + d'$, und wenn der Balken gerade in der Mitte belastet wird, für welchen Fall $d = d'$ ist, hat man $l = 2d$ und $d = \frac{1}{2} l = d'$. Wird dieser Werth von d und d' in der Gleichung (14) substituirt, so erhält man für die relative Festigkeit p den Ausdruck

$$p = \frac{1}{6} cbh^2 \frac{l}{\frac{1}{4}l^2} \text{ oder } p = 4 \cdot \frac{1}{6} c \frac{bh^2}{l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Vergleicht man diese Gleichung (15) mit der Gleichung (10), so sieht man, daß ein an seinen Enden frei aufliegender Balken unter übrigens gleichen Umständen 4mal so stark ist, als wenn er an einem Ende eingemauert und am andern belastet wäre. Für den Fall endlich, daß an dem besagten, an beiden Enden frei aufliegenden Balken die Belastung nicht in der Mitte angebracht, sondern über seine ganze Länge gleichförmig vertheilt würde, wäre die relative Festigkeit

$$p = 8 \cdot \frac{1}{6} c \frac{bh^2}{l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

d. h. der Balken ist in diesem Falle 2mal so stark, als wenn er bloß in der Mitte belastet wird, und 8mal so stark, als wenn er an einem Ende fest eingefügt und am andern belastet ist. Daß alle diese Verhältnisse der relativen Festigkeiten in den Fällen, wo beide Enden des Balkens frei aufliegen, oder wo das eine Ende unveränderlich befestigt ist, auch für Balken von kreisförmigem oder anderem Querschnitte gelten, versteht sich von selbst. Setzt man in den Formeln (14) (15) und (16) $\frac{1}{4} cr^3\pi$ anstatt $\frac{1}{6} cbh^2$, so drücken sie dann die relative Festigkeit cylindrischer Balken aus (versteht sich unter den bei den prismatischen Balken vorausgesetzten Umständen). In dem Falle, daß der Balken an beiden Enden eingemauert und in der Mitte belastet wird, wo ein dreifacher Bruch Statt finden muß, ist die relative Festigkeit p nach der Formel (16) zu berechnen. Liegt der Balken nicht horizontal, sondern schief, so gelten für die relative Festigkeit die nämlichen Gleichungen, wie für die horizontale Lage, nur muß man darin l nicht mehr die Länge des Balkens, sondern die Horizontalprojection dieser Länge bedeuten lassen. Dem Zerbrechen haben Querbalken, horizontale Tragsteine, Eisenbahnschienen u. s. w. zu widerstehen.

34. Rückwirkende Festigkeit. Man versteht darunter, wie schon vorn angegeben worden, die Kraft, womit die Körper dem Zerdrücktwerden widerstehen. Die Kenntniß der rückwirkenden Festigkeit ist bei Pfeilern, Tragsäulen, Bausteinen u. s. w. höchst wichtig, und ihr Maß bei einem bestimmten Körper ist diejenige drückende Last (Druckkraft), welche sich nicht um den kleinsten Theil vergrößern läßt, ohne daß der Körper wirklich zerdrückt oder zersplittert wird. Nach vielseitig angestellten Versuchen ist die rückwirkende Festigkeit bei ähnlich gestalteten Körpern aus derselben Materie den Flächen der Querschnitte proportional, auf welche die Druckkräfte senkrecht wirken und übrigens desto größer, je mehr die Form der besagten Querschnitte jener einer Kreisfläche und je mehr die Dicke des Körpers seiner Länge nahe kommt. Es folgen hier die Werthe der rückwirkenden Festigkeit und zwar in Wien. Pfunden und für 1 □ Zoll Querschnitt bei jenen Steinen und steinartigen Materialien, welche am häufigsten Anwendung finden:

Granit	5000 — 9500	Gem. Mörtel . .	372 — 750
Kalkstein	1200 — 4950	Sandstein . . .	1200 — 11000
Marmor	3700 — 9900	Ziegel	490 — 2100

Von diesen Zahlen, welche die Belastung ausdrücken, bei welcher ein wirkliches Zerdrücktwerden erfolgt, kann man, um vollkommen sicher zu gehen, nur den zehnten Theil als Maß des Tragvermögens annehmen. Bei biegsamen Körpern (Hölzern und Metallen), welche sich, wenn sie beträchtlich länger als dick sind, unter der Belastung, die sie zu zerdrücken sucht, vorher bedeutend biegen, bis endlich

mehr ein Zerbrechen als ein Zerdrücktwerden eintritt, ist die rückwirkende Festigkeit auch von dem Verhältnisse der Länge dieser Körper zur Dicke abhängig und in dieser Beziehung konnten nur Versuche verläßliche Anhaltspunkte rücksichtlich der Festigkeit liefern. Diesen zufolge kann man die rückwirkende Festigkeit einer Säule, die eben so dick oder nur halb so dick als hoch ist, für jeden □ Zoll Querschnittsfläche

bei Eichen- und Tannenholz . . .	zu	3700 Pfd.,
„ Schmiedeisen	„	49560 „
„ Gußeisen	„	124000 „

annehmen. Ist die Höhe der Säule 12mal oder 24mal größer als die Dicke, so ist für die genannten Hölzer die rückwirkende Festigkeit im ersten Falle nur $3700 \times {}^5/_6$ und im zweiten $3700 \times {}^1/_2$ Pfund. Bei Schmiedeisen muß, um die rückwirkende Festigkeit zu erhalten, in den erwähnten Fällen die Zahl 49560 mit $^5/_8$ und $^1/_2$ und bei Gußeisen muß die Zahl 124000 mit $^2/_3$, $^1/_2$ oder $^1/_{15}$ multiplicirt werden, je nachdem die Höhe beziehungsweise beiläufig 4, 8 oder 36 mal größer ist als die Dicke. Von den Zahlen, die auf diese Weise erhalten werden und die Belastung anzeigen, bei welcher ein wirkliches Zerdrücken eintritt, darf, wenn es sich darum handelt, welche Last eine Säule andauernd sicher tragen kann, bei Holz und Steinen nur der zehnte, und bei Eisen nur der vierte bis sechste Theil genommen werden.

35. Drehungs- oder Torsionsfestigkeit. Die genaue Kenntniß dieser Festigkeit, worunter man die Kraft versteht, womit ein Körper dem Abgedrehtwerden widersteht, ist von hoher Wichtigkeit bei den an den verschiedenen Maschinen vorkommenden Wellbäumen, auf welchen z. B. mit bedeutenden Lasten beschwerte Stricke aufgewickelt werden oder welche durch hervorstehende Daumen Hämmer oder Pochstämpel zu heben haben, ferner bei den Bohrstangen u. s. w., damit diese Maschinentheile ohne überflüssigem Materialaufwand doch den gehörigen Festigkeitsgrad erhalten. Ist ein Prisma oder ein Cylinder **AB** (Fig. 22) an einem Ende **A** unveränderlich befestigt und es sucht ihn an dem andern Ende **B** eine Kraft, die in einer auf seiner Achse senkrechten Ebene, z. B. an irgend einem Punkt a des verlängerten Halbmessers ob wirkt, um seine Achse zu drehen, so wird hierdurch der Halbmesser oe um einen bestimmten Winkel ecf = w verdreht und die vorher der Axe parallel gewesene Linie **De** nimmt die Lage **Df** an, so daß die ursprünglich in dieser und in allen ähnlichen geraden Linien gelegenen Theilchen in eine Schraubenlinie zu liegen kommen und sich dabei von einander entfernen. Bleibt diese Entfernung innerhalb der Elasticitätsgrenze, so verschwindet, wenn die Kraft zu wirken aufhört, die bewirkte Verdrehung wieder; geht hingegen die Entfernung der Theilchen von einander über die Grenze der Dehnbarkeit hinaus, so erfolgt die Trennung derselben, d. h. der Körper wird abgedreht. Die hiezu erforderliche Kraft ist natürlich von der materiellen Beschaffenheit des abgedrehten Körpers abhängig und steht unter übrigens gleichen Umständen im geraden Verhältnisse mit der vierten Potenz des Halbmessers und im verkehrten Verhältnisse mit der Länge dieses Körpers. Massive Cylinder besitzen eine geringere Torsionsfestigkeit als hohle Cylinder oder Röhren von gleicher Masse, aus dem nämlichen Materiale und von derselben Länge. Zur Berechnung der Dimensionen (Dicke oder Länge, oder beider zugleich), die man einer Welle geben muß, damit sie für eine bestimmte Drehkraft die gehörige Festigkeit besitzt, gibt die höhere Rechnung folgende Gleichungen und zwar:

Fig. 22.



für einen massiven Cylinder $P = \frac{1}{2} c\pi \frac{w}{al} r^4$; . . . . (17)

für einen hohlen Cylinder $P = \frac{1}{2} c\pi \frac{w}{al}(r^4 - r'^4)$ . . . . (18)

für eine Welle mit quadratförmigem Querschnitt $P = \frac{1}{6} c \frac{w}{al} b^4$ . . . . (19)

und für eine Welle mit rechteckigem Querschnitt $P = \frac{1}{3} c \frac{w}{al} \cdot \frac{b^3 d^3}{b^2 + d^2}$ . . (20)

wo a den Abstand des Punktes, auf welchen die Drehkraft P wirkt, von der Axe der Welle, w den vorerwähnten Drehungswinkel, l die Länge, r den Halbmesser des massiven oder den äußern Halbmesser des hohlen Cylinders, r′ den innern Halbmesser des hohlen Cylinders und c den Torsionscoefficienten, dessen Werth für die wichtigsten Materialien man in der folgenden Tabelle findet, π die bekannte Zahl 3·1415 . . . ., b die Breite und d die Dicke der prismatischen Welle bedeutet.

Benennung der Körper.	Torsionscoefficient	Benennung der Körper.	Torsionscoefficient.
Buchen	1900	Tannen	1000—1800
Eichen	1000—1800	Weißbuchen	2400
Eschen	1800	Gußeisen	86000—88000
Fichten	900—1360	Schmiedeisen	124000—178000
Kiefer	1250	Stahl	148000—181000
Lärchen	1700		

Diese Tabelle setzt voraus, daß beim Gebrauche der vorhergehenden Formeln (17) bis (20) die Größen a, l, b, d, r und r′ in Wiener Zollen, P in Wiener Pfunden und w in Graden ausgedrückt werden. (Nach Burg's Compendium der Mechanik.)

36. Festigkeit der Metalle, Hölzer und Stricke. Außer dem bisher über die Festigkeit Mitgetheilten sind insbesondere bezüglich der für die Anwendung wichtigsten Materialien, nämlich der Metalle, der Hölzer und der Stricke, noch nachstehende Erfahrungsergebnisse wichtig. Gegossene Metalle sind in der Regel schwächer als geschmiedete, warme immer schwächer als kalte. Mäßiges Hämmern erhöht die Festigkeit, plötzliches Abkühlen nach starkem Erhitzen ist nicht bei allen Metallen von gleichem Einflusse, macht Eisen und Stahl stärker, Messing und Kupfer schwächer. Eine große Veränderung in der Festigkeit bei Metallen bewirkt ihre chemische Verbindung unter einander oder mit einem andern Stoffe, und hierbei kömmt es nicht nur auf die materielle Beschaffenheit der Stoffe, sondern auch auf die Mengen an, in denen sie sich verbinden, wie dies unter andern das Glockengut, Kanonengut, Spiegelmetall und Bronze zeigen, welche alle Verbindungen aus Kupfer und Zinn in verschiedenen Mengenverhältnissen sind, und ganz ungleiche Festigkeitsgrade besitzen. Eben so wird Eisen durch Verbindung mit wenig Kohlenstoff (zu Stahl) fester, und mit viel Kohlenstoff (zu Roheisen) weniger fest. — Die Versuche über die relative Festigkeit der verschiedenen Holzarten haben bisher so wenig übereinstimmende Resultate geliefert, daß man die Reihenfolge, in welche die Hölzer verschiedenen Namens in Bezug auf diese Eigenschaft zu stellen sind, bis jetzt noch nicht mit Sicherheit angeben kann. So viel scheint indessen gewiß, daß das Rothbuchenholz dem Eichenholze und dieses dem Föhrenholze an relativer Festigkeit vorangehe. Fichten- und Tannenholz, wovon letzteres etwas fester ist, als ersteres, scheinen nach einigen Versuchen den genannten Hölzern nachzustehen, nach andern hingegen selbst das Eichen-, ja sogar das Rothbuchenholz zu übertreffen. Uebrigens ist bei einer und derselben Holzart die Festigkeit, je nach dem Alter und Wuchse des Baumes, dem Standorte in Bezug auf Boden, Lage,

Klima ꝛc. und nach dem Theile des Baumes, woraus das Holz genommen wurde (Stamm- oder Astholz, Kern- oder Splintholz) und je nachdem das Holz mehr oder weniger feucht ist, sehr verschieden. — Stricke von demselben Materiale und von derselben Dicke sind desto fester, aus je feineren Fäden sie bestehen, und je weniger sie gedreht sind. Da durch das Drehen die Fäden schon in einen gespannten Zustand versetzt werden und daher dem Zerreißen mit keiner so großen Kraft mehr widerstehen können, als im ungedrehten Zustande, so sollen die Stricke nicht unnöthig stark, keinesfalls aber weiter gedreht werden, als bis dadurch die Fäden $1/_6$ ihrer ursprünglichen Länge verloren haben. Geflochtene Stricke sind unter übrigens gleichen Umständen immer stärker als gedrehte. Auch Drahtseile sind bei der nämlichen Dicke und Länge immer fester, wenn sie aus dünneren Drähten verfertigt sind, haben auch mehr Festigkeit, als ein gleich langer und gleich dicker massiver Stab desselben Metalls, und dies hat seinen Grund in der größeren Dichte und Festigkeit, die jeder einzelne Draht durch die Operation des Drahtziehens an seiner Oberfläche erhält. Nasse Hanfseile sind stärker, als trockene, ungetheerte stärker, als getheerte, ungebleichte fester, als gebleichte. Seidene Schnüre sind bei derselben Dicke stärker als leinene.

37. Krystallinisches Gefüge. Zu den besonderen physikalischen Eigenschaften der Körper gehört auch die Krystallform, welche feste Körper unter gewissen Bedingungen zeigen. In **18** S. 31 wurde bei festen Körpern als charakteristisch herausgehoben, daß sie eine selbstständige Gestalt besitzen. Diese Gestalt ist nun entweder zufällig, d. h. durch zufällige äußere Umstände bedingt und unabhängig von der Anordnung der kleinsten Körpertheilchen im Innern, oder sie hat ihren Grund in einem bestimmten regelmäßigen Gefüge dieser kleinsten Theilchen. Im letzteren Falle zeigen die Körper regelmäßige oder symmetrische Formen, die durch Vereinigung (Zusammentreffen) ursprünglich gebildeter ebener Begrenzungsflächen erzeugt worden, und solche Körper nennt man krystallisirt. Wenn ein solcher Körper den Raum, den er einnimmt, mit gleichartiger Materie stetig erfüllt, so wird er ein Krystall (Krystallindividuum) genannt. Die krystallisirten Körper können entweder einzelne Krystalle (Individuen) oder Aggregate (Zusammenhäufungen) von einzelnen Krystallen sein, welche letztere oft so klein sind, daß sie sich nur bei genauerer Untersuchung des Körpers, wenn man demselben durch Zerschlagen oder Zerbrechen künstliche Flächen (Bruchflächen) gibt, erkennen lassen. Körper, die weder an der natürlichen Oberfläche, noch an Bruchflächen krystallinische Form zeigen, werden gestaltlos (amorph) genannt, wenn sie nicht etwa Bruchstücke eines großen Krystalles sind. Krystallisirte Körper sind immer unorganisch, und es liefert sie die Natur in zahlloser Menge und Verschiedenheit; viele lassen sich aber auch künstlich erzeugen, und der Proceß, durch welchen sie in dem einen so wie in dem andern Falle gebildet werden, heißt das Krystallisiren oder der Krystallisationsproceß.

Dieser Proceß kann jedoch nur unter gewissen Bedingungen Statt finden. Soll nämlich irgend ein Stoff krystallisiren, so muß er sich im flüssigen Zustande befinden, damit seine kleinsten Körpertheilchen außerordentlich leicht beweglich sind, den zwischen ihnen wirksamen Kräften ungehindert folgen und sich zu regelmäßigen Formen anordnen können. Feste Körper müssen daher, wenn man sie aus dem amorphen Zustande in den krystallinischen versetzen (d. h. krystallisiren machen) will, vorher durch Auflösen in einer passenden Flüssigkeit (Auflösungsmittel) oder durch Wärme flüssig, und nachher wieder fest gemacht werden. Letzteres muß auf eine solche Weise geschehen, daß dabei die Cohäsionskraft ungestört und mit der zur Herstellung des festen Zustandes nöthigen Stärke wirken, und so die kleinsten Theilchen in die von der Krystallform bedingte Anordnung bringen kann. Dies wird erreicht: 1) durch langsames und allmäliges Abdampfen (Ver-

dunsten) des Auflösungsmittels, indem man die Auflösung, am besten in einem flachen Gefäße, an freier mäßig warmer Luft, oder in künstlich erzeugter höherer Wärme lange genug ruhig stehen läßt (so krystallisirt Kochsalz und Zucker aus der Auflösung in Wasser). 2) Indem man in die Auflösung eine andere Substanz bringt, welche den aufgelösten Stoff frei macht, d. h. sich mit dem Auflösungsmittel zu einer Flüssigkeit verbindet, welche den zu krystallisirenden Körper gar nicht oder nur in geringerer Menge aufgelöst zu behalten vermag, so daß er sich in der Gänze oder wenigstens zum Theil ausscheidet (so krystallisirt der im Wasser aufgelöste Salpeter, wenn man Weingeist und umgekehrt der in Weingeist aufgelöste Kampher, wenn man Wasser der Auflösung zusetzt). 3) Durch Zersetzung des Auflösungsmittels vermittelst Electricität, worüber jedoch erst in der Electricitätslehre weiter gesprochen werden kann. 4) Durch Abkühlen der Auflösung, was aber nur dann zum Ziele führt, wenn das Auflösungsmittel im kalten Zustande von dem betreffenden Stoffe weniger aufgelöst enthalten kann, als im warmen Zustande, wie dies bei Wasser und Salpeter der Fall ist. Die Körper, die man durch Wärme flüssig gemacht, d. h. geschmolzen oder in Dampf aufgelöst hat, müssen, damit sie krystallisiren, durch langsames Erkalten wieder fest gemacht werden, z. B. Schwefel, Jod u. s. w. Je langsamer die Zurückführung des flüssig gemachten Stoffes in den festen Zustand geschieht, und je ruhiger die Flüssigkeit steht, desto wenigere, aber größere und deutlichere Krystalle bilden sich (Kandiszucker); je schneller man hingegen das Auflösungsmittel entfernt oder erkaltet und je mehr die Ruhe der Flüssigkeit gestört wird (daher das Stirren der krystallrechten Zuckermassen in den Kühlern, damit die Zuckerbrode oder Zuckerhüte nur kleine Krystalle enthalten), desto mehrere, aber kleinere, undeutliche und meistens unregelmäßig zusammengehäufte Krystalle entstehen (Hutzucker).

38. Die Krystallisation begünstigende Umstände. Man kann, unter Erfüllung der eben angegebenen Bedingungen des Krystallisirens, die Krystallbildung oft dadurch bedeutend befördern, daß man, wenn die betreffende Flüssigkeit schon dem Punkte, wo sich Krystalle abzusetzen beginnen, nahe (d. h. krystallrecht) ist, an das Gefäße, worin sie sich befindet, einen geringen Stoß ausübt, der die Masse in schwache Bewegung setzt, und den kleinsten Theilchen ihre Trägheit, in Folge der sie in Ruhe zu bleiben suchen, überwinden hilft, oder daß man den Stoff, der krystallisiren soll, mit einem bereits fertigen Krystall derselben Materie oder auch nur mit einem andern festen Körper in Berührung bringt, in welchem letzteren Falle offenbar die Adhäsion begünstigend wirkt, was die Erfahrung beweist, indem aus Wasser herauskrystallisirende Salze sich schwieriger an gläserne als an porzellanene und gar nicht an mit Fett überzogene Wände ansetzen. Wie ein fester Körper wirkt in dieser Beziehung auch die Luft. Man sieht demnach ein, warum eine krystallrechte Flüssigkeit immer zuerst an den Gefäßwänden und an der mit der Luft in Berührung stehenden Oberfläche Krystalle liefert, und warum man, um aus einer krystallrechten Masse schnell viele und größere Krystalle zu erhalten, in dieselbe an verschiedenen Punkten Stäbe hineinstellt, oder, wie bei Erzeugung des Kandiszuckers, durch dieselbe Fäden durchzieht (damit sich nämlich auch im Innern der Masse an vielen Punkten eben so schnell Krystalle ansetzen, wie dies sonst bloß an den Wänden des Krystallisationsgefäßes geschieht).

Bringt man in die Lösung eines Salzes, z. B. gemeinen Kochsalzes, einen Krystall derselben Materie, so vergrößert er sich schnell, wenn sich vordem in der Flüssigkeit auch noch keine Spur von beginnender Krystallisation zeigte. Darauf gründet sich Le Blanc's Methode, sehr große und regelmäßige Krystalle zu erzeugen, die in Folgendem besteht. Man läßt z. B. die Lösung eines Salzes in warmen Wasser sehr langsam erkalten, so daß nur einzelne Krystalle entstehen, wählt unter diesen die am besten ausgebildeten aus, und legt sie, von einander getrennt, in die Auflösung desselben Salzes, welche man vorher gelinde erwärmt, damit sie von diesem Salze etwas mehr aufnimmt, als dies bei gewöhnlicher Temperatur der Fall ist,

und den kleinen Salzüberschuß allmälig an den hineingelegten Krystall absetzt. Man wiederholt dieses Umlegen der Krystalle in immer frische gesättigte Flüssigkeiten so lange, bis die einzelnen Krystalle die gewünschte Größe haben, wobei jedoch zu beobachten ist, daß die Krystalle jedesmal auf eine andere ihrer Flächen gelegt werden, weil die den Boden berührende Fläche am wenigsten zu wachsen Gelegenheit hat.

39. Zerknisterungswasser. Krystallisationswasser. Krystallisirt ein Körper aus einer tropfbaren Flüssigkeit heraus, und wird diese durch Abdampfen nicht völlig entfernt, so heißt der zuletzt bei den gebildeten Krystallen zurückbleibende Rest der Flüssigkeit die Mutterlauge. Sie enthält noch eine nach Umständen verschieden große Menge der krystallisirenden Substanz und daneben alle weniger leicht krystallisirbaren Stoffe, welche in der zur Krystallisation gestellten Auflösung enthalten waren. Hierauf gründet sich eine z. B. bei der Fabrikation von Salpeter, Alaun u. s. w. sehr gebräuchliche Methode, leichter krystallisirbare Körper von weniger leicht krystallisirbaren zu reinigen, welche darin besteht, daß man die betreffenden Körper wiederholt auflöst, krystallisiren läßt, mit kleinen Mengen des kalten Auflösungsmittels abwäscht, und nachher zwischen Fließpapier auspreßt, wo man zuletzt ganz reine Krystalle erhält, indem alles minder krystallisirbare Fremdartige in den Mutterlaugen zurückbleibt. Von der Mutterlauge werden oft, besonders bei rascherer Krystallisation, kleine und sehr veränderliche Mengen zwischen den Blättchen der Krystalle als sogenanntes Zerknisterungswasser mechanisch eingeschlossen. Erhitzt man solche Krystalle dann, und sind sie von solcher Beschaffenheit, daß sie zum Schmelzen eine höhere Temperatur brauchen, als die eingeschlossene Mutterlauge zum Sieden, so zersprengen die beim Sieden der Mutterlauge sich entwickelnden Dämpfe die Krystalle, wobei diese zerknistern oder decrepitiren, wie dies z. B. bei Kochsalz-Krystallen der Fall ist, die durch rasches Einkochen der Kochsalzlösung erhalten wurden. Viele Stoffe nehmen ferner, indem sie aus einer Auflösung in Wasser (aus wässeriger Auflösung) herauskrystallisiren, eine bestimmte Menge Wasser auf, das sie chemisch binden und dann in fester Form enthalten. Dieses Wasser, welches man Krystallisationswasser oder auch Krystalleis nennt, macht, daß der betreffende Stoff eine andere Krystallform und andere Eigenschaften als im wasserfreien Zustande zeigt, ist unumgänglich nothwendig, damit er eine bestimmte Krystallform annimmt, und es ändert sich mit der Menge dieses chemisch gebundenen Wassers auch die Krystallform. Viele Krystalle verwittern, d. h. verlieren an der Luft schon bei gewöhnlicher Temperatur ihr Krystallisationswasser ganz oder zum Theil, und mit demselben auch ihre Krystallgestalt, so daß sie anfangs an der Oberfläche mit Staub bedeckt erscheinen, endlich aber ganz auseinander fallen (z. B. Glaubersalz, kohlensaures Natron). Manche Körper nehmen das an der Luft oder in höherer Hitze verlorene Krystallisationswasser wieder auf, wenn sie mit Wasser in Berührung kommen, wie dies der gebrannte Gyps thut, der dann erhärtet, und viele Krystalle nehmen aus der Luft Wasser auf und zerfließen, z. B. der salzsaure Kalk.

40. Einfluß des Krystallisirens auf die Eigenschaften der Körper. Durch Krystallisiren werden undurchsichtige Stoffe oft durchsichtig oder wenigstens durchscheinend und umgekehrt; meistens erhalten sie eine größere Sprödigkeit und Härte, und diese letztere ist nicht an allen Stellen gleich. — Kohlenstoff (der Hauptbestandtheil der Kohlen) und Thonerde sind im amorphen Zustande undurchsichtig und nicht besonders hart, im Krystallzustande (als Diamant und Saphir) aber durchsichtig und so hart, daß sie alle übrigen Körper ritzen. Wegen der größeren Härte, welche die Körper durch's Krystallisiren erhalten, widerstehen sie auch nachher kräftiger den chemischen Einwirkungen. Hierauf beruht die Erzeugung des Damastes auf dem Gußstahle und auf dem indischen, unter dem Namen Wootz bekannten Stahle, so wie die Erzeugung des Metallatlases

(**Metallmoors, Moiré metallique**). Der langsam erkaltete Gußstahl und der Wootz sind nämlich ein Gemenge von unkrystallisirten und krystallisirten Theilen, welche aus dem eben angegebenen Grunde eine ungleiche Härte haben; die krystallisirten Theile sind überdies untereinander wegen der verschiedenen Menge Kohlenstoff, den sie enthalten, ungleich hart. Wird nun die polirte Oberfläche solchen Stahles mit einer verdünnten Säure geätzt, so greift diese denselben an den verschiedentlich harten Stellen in ungleichem Grade an, und dadurch entstehen unter Bloßlegung der krystallisirten Theile und des von der Säure ungelöst zurückgelassenen Kohlenstoffes auf der polirten Oberfläche die schattirten Zeichnungen, welche den damaszirten Stahl charakterisiren. Einen ganz gleichen Grund haben auch die strahligen Zeichnungen, die man auf der Oberfläche des Meteorstahles durch ein passendes Aetzmittel hervorrufen kann. — Das unter dem Namen Metallmoor bekannte moirirte, d. i. auf der Oberfläche mit perlmutterartig schimmernden und strahligen Zeichnungen versehene Weißblech, dessen man sich, besonders im bemalten und überfirnißten Zustande, lange zur Verfertigung oder Verzierung von Blechwaaren bediente, wird dadurch erzeugt, daß man den Zinnüberzug des Weißblechs an den Stellen, wo die besagten Zeichnungen hervorgerufen werden sollen (durch Erhitzen über einer Flamme oder über Kohlenfeuer, oder durch Berührung mit einem heißen Löthkolben) zum Schmelzen bringt, hierauf erkalten, dann auf dieselben, jedoch nur kurze Zeit, eine Säure (z. B. verdünnte Salzsäure mit etwas Salpetersäure vermischt) einwirken läßt, und endlich das Blech gut abwäscht. Indem die Säure (Beitze) die beim Erkalten des geschmolzenen Zinnes entstandenen krystallisirten Theilchen weniger heftig angreifen kann, als die unkrystallisirten, werden letztere weggefressen und das Krystallgefüge tritt an der Oberfläche deutlich hervor. Von den übrigen, die krystallisirten Körper charakterisirenden und in das Bereich der Physik gehörigen Eigenschaften können diejenigen, welche sich auf das Verhalten dieser Körper gegen das Licht, gegen die Wärme und Electricität beziehen, erst später (nämlich in der Lehre vom Lichte, von der Wärme und Electricität) besprochen werden, und von den Eigenschaften, welche den Krystallen rücksichtlich ihrer Gestalt und Struktur zukommen, kann dieses Buch seiner Bestimmung gemäß nur so viel enthalten, als zu gehöriger Einsicht in die übrigen physikalischen Erscheinungen, insbesondere des Lichtes, erforderlich ist; das Weitere hierüber muß in der eigenen, von den Krystallformen handelnden Wissenschaft gesucht werden, die unter dem Namen Krystallographie einen Haupttheil der Mineralogie ausmacht.

41. Eigenschaften der Krystalle rücksichtlich ihrer Gestalt. Die Form eines Krystalls heißt die Krystallgestalt. Sie wird bestimmt durch die den Krystall begrenzenden Flächen (Krystallflächen) und zwar durch die Anzahl, Figur und Lage dieser Flächen, auch wird sie darnach benannt. Man sieht dabei nicht auf die Größe der Krystallgestalt und macht somit zwischen Gestalten, die geometrisch ähnlich sind, z. B. zwischen zwei ungleich großen Würfeln, keinen Unterschied. — Die Krystallflächen werden immer als Ebenen betrachtet, und wenn sie es in der Natur nicht wirklich sind, so schiebt man die Abweichungen auf Rechnung zufälliger Störungen während des Bildungsprocesses. Beim Zusammentreffen der Krystallflächen entstehen die Krystalkanten (d. i. Durchschnittslinien der Krystallflächen) und die Ecke (d. i. gemeinschaftliche Durchschnittspunkte von drei oder mehreren Krystallflächen). Da man die Krystallflächen immer als Ebenen betrachtet, so müssen auch die Kanten stets als gerade Linien und die Ecke als von ebenen Winkeln begrenzte Körperwinkel angesehen werden. — Bei jeder Krystallgestalt kann man sich eine oder mehrere, durch die Krystallgestalt hindurchgehende gerade Linien denken, um welche herum die Punkte der Krystalloberfläche (die Krystallflächen, Kanten und Ecke) auf gleiche Weise vertheilt sind. Man nennt

diese geraden Linien *Axen* und jede derselben geht immer durch den Mittelpunkt der Krystallgestalt und zugleich durch *eminente* Punkte der Oberfläche. Solche eminente Punkte sind die *Mittelpunkte der Flächen*, die *Mittelpunkte der Kanten* und *die Ecke* des Krystalls. Man unterscheidet *Haupt-* und *Nebenaxen*. Sind die senkrecht auf eine Axe durch den Krystall geführten Schnitte regelmäßige Figuren oder lassen sich in diese Schnitte regelmäßige Figuren einzeichnen, so heißt die Axe eine *Hauptaxe*, im entgegengesetzten Falle nennt man sie *Nebenaxe*. Krystallgestalten, die nur *eine* Hauptaxe haben, werden *einaxige* und solche, welche mehr als *eine* Hauptaxe haben, werden *vielaxige* Gestalten genannt. Bei dem durch Fig. 23 dargestellten *Hexaeder* (Würfel) ist jede, die Mittelpunkte zweier auf entgegengesetzten Seiten des Krystall-Mittelpunktes gelegener (kurz ausgedrückt: entgegengesetzter) Flächen oder Ecke verbindende Linie wie ab und cd, eine Hauptaxe; denn alle senkrechten Schnitte auf die mit ab gleichartigen Axen sind Quadrate und auf die Axen der Art wie cd, sind entweder gleichseitige Dreiecke, wie die Schnitte a in Fig. 24, oder Sechsecke, wie die Schnitte b in Fig. 25, in welche sich gleichseitige Dreiecke einzeichnen lassen. Jede die Mittelpunkte zweier entgegengesetzter Kanten verbindende Linie wie ef (Fig. 23) ist eine *Nebenaxe*, denn die auf diese Axen senkrechten Schnitte sind längliche Rechtecke, wie Schnitt mnor Fig. 23, die selbst keine regelmäßigen Figuren sind, und auch die Einzeichnung solcher Figuren nicht gestatten. Das *Hexaeder* ist zugleich ein Beispiel einer *vielaxigen* Gestalt. — Andere *vielaxige* Gestalten sind: das durch Fig. 26 dargestellte, von vier gleichseitigen Dreiecken begrenzte *Tetraeder*; und das von acht gleichen gleichseitigen Dreiecken begrenzte *Octaeder* (Fig. 27) u. s. w. Beim Tetraeder ist jede den Mittelpunkt einer Fläche und das entgegengesetzte Eck verbindende Linie wie ab eine *Hauptaxe*, die Schnitte darauf sind wieder gleichseitige Dreiecke. Beim Octaeder ist jede durch die Ecke gehende Axe (ab) eine *Hauptaxe*, denn die senkrechten Schnitte darauf sind Quadrate, wie der Schnitt m Fig. 27. Eine *einaxige* Krystallgestalt ist das von 6 gleichseitigen, schiefwinkligen Vierecken begrenzte *Rhomboeder* (Fig. 28); die einzige Hauptaxe ist ax; die Schnitte darauf sind gleichseitige Dreiecke, oder Sechsecke (siehe die Punktirungen), in welche sich solche Dreiecke einzeichnen lassen. Besitzt eine Krystallgestalt keine Hauptaxe in dem eben erklärten Sinne, sondern nur lauter Nebenaxen, so betrachtet der Krystallograph eine dieser letzteren als Hauptaxe. Welche er hiezu wählt, ist oft gleichgiltig, oft aber von gewissen Regeln abhängig. Wenn daher von einer Hauptaxe geredet wird, die nach der gegebenen Definition keine eigentliche Haupt-

Fig. 23.

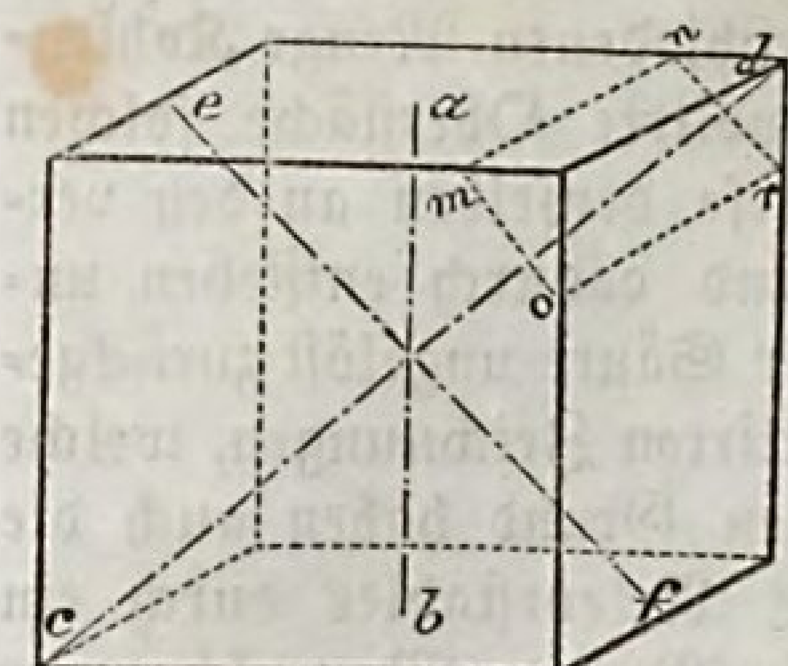


Fig. 24.

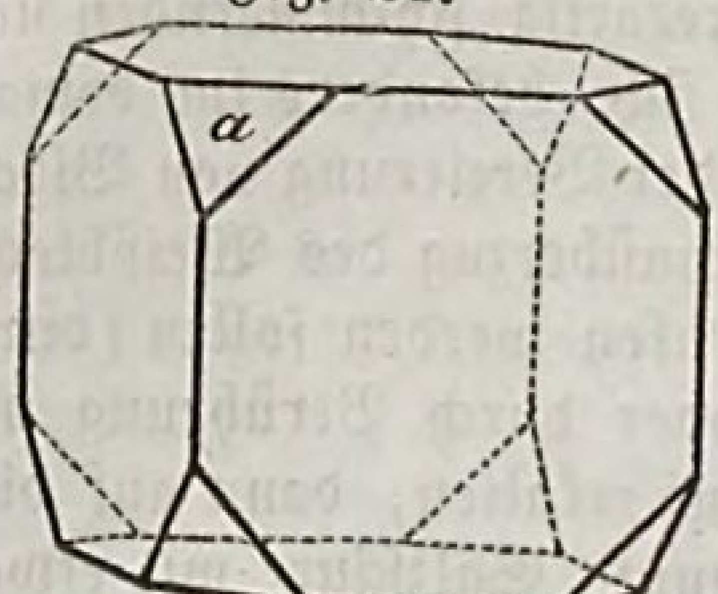


Fig. 25.

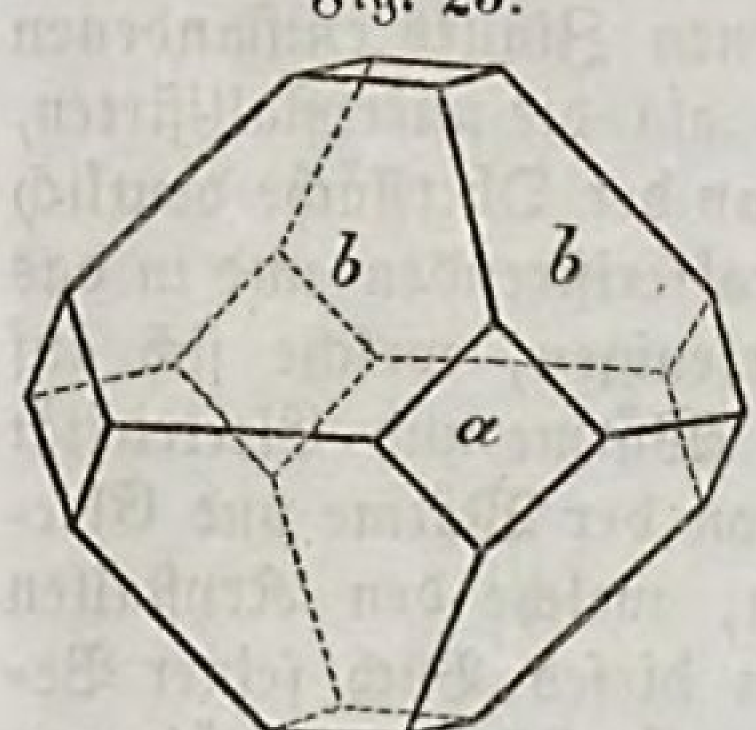


Fig. 26.

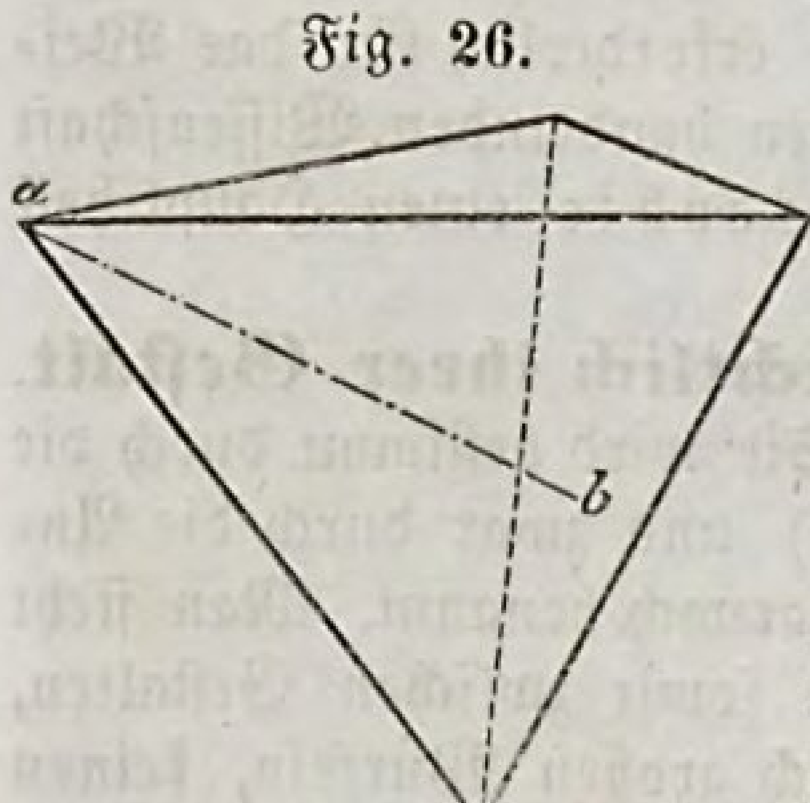


Fig. 27.

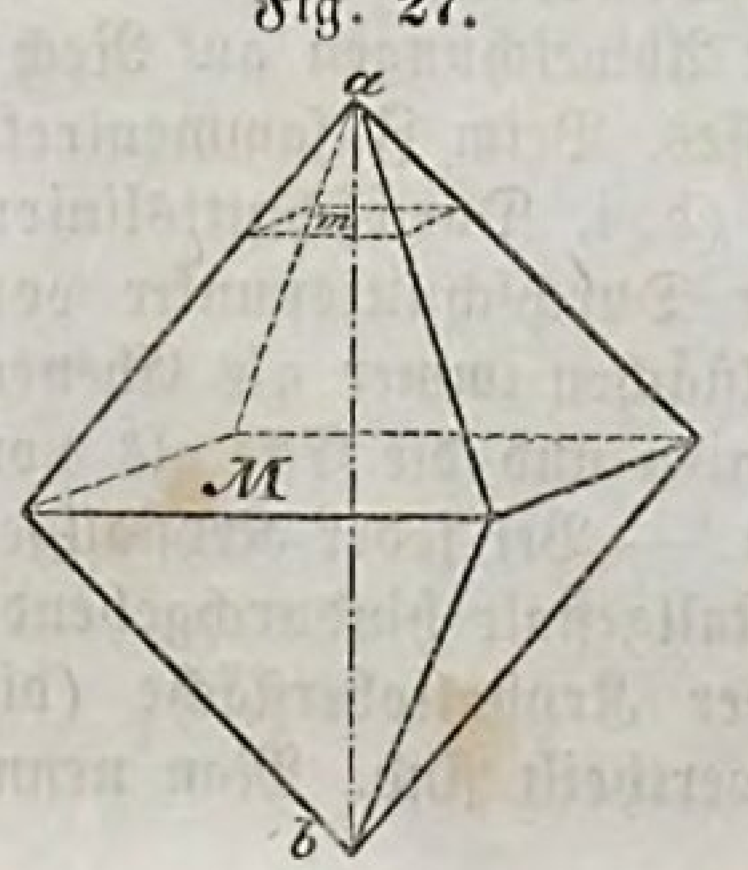
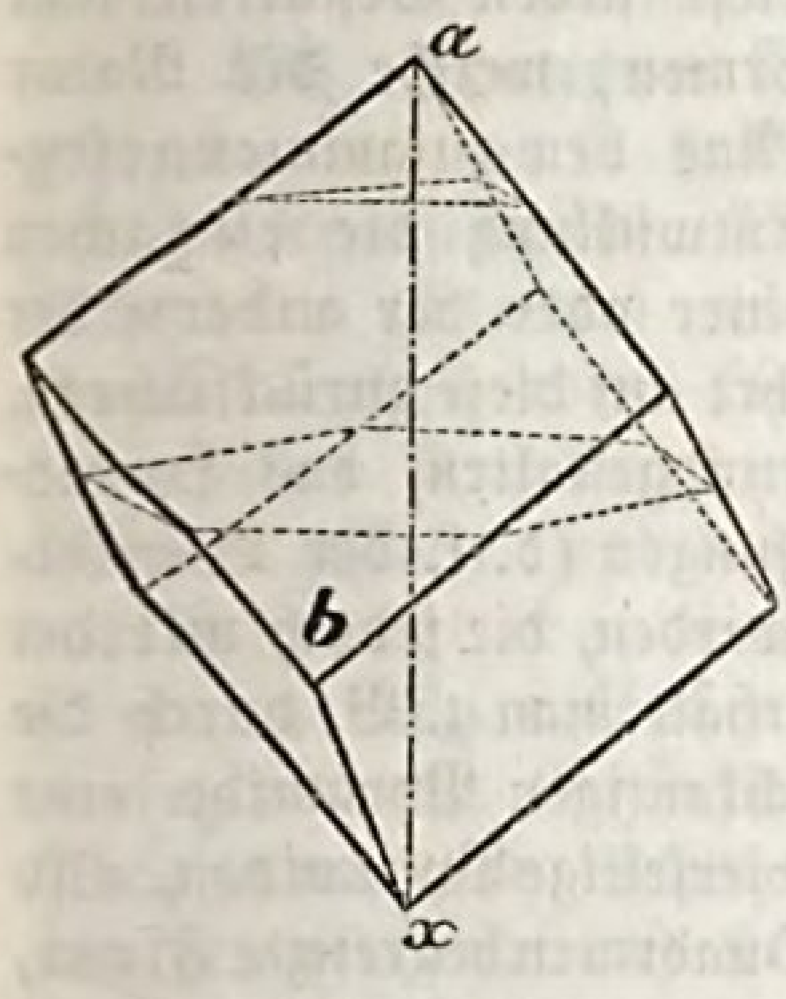


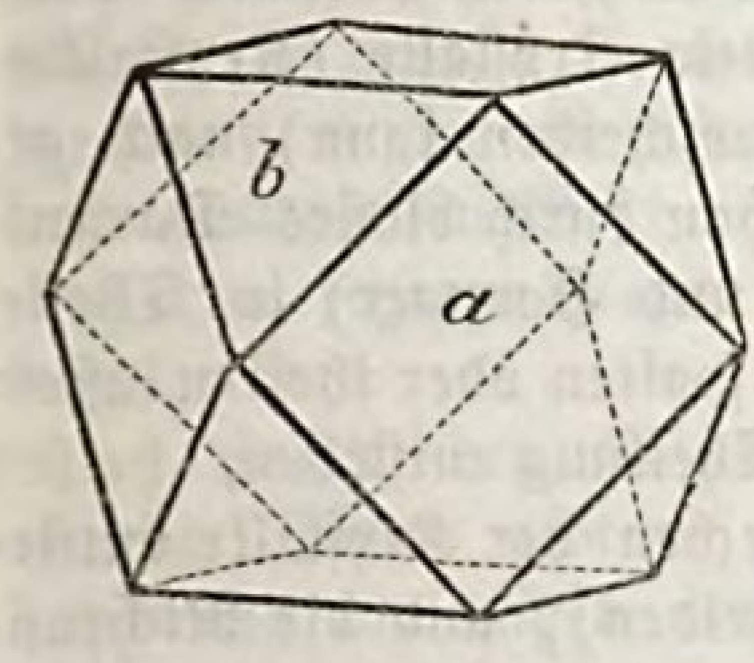
Fig. 28.



axe ist, so hat man darunter eine durch Wahl zur Hauptaxe erhobene Nebenaxe zu verstehen. — Ein auf einer Axe senkrecht stehender und durch den Mittelpunkt der Gestalt gehender Schnitt heißt Querschnitt und halbirt immer die Gestalt. Ein Schnitt, der eine Gestalt halbirt, ohne eine Kante zu schneiden (d. i. quer durch eine Kante zu gehen) wie der Schnitt **M** in Fig. 27 oder der durch die Punkte **abx** in Fig. 28 geführte Schnitt heißt ein Hauptschnitt.

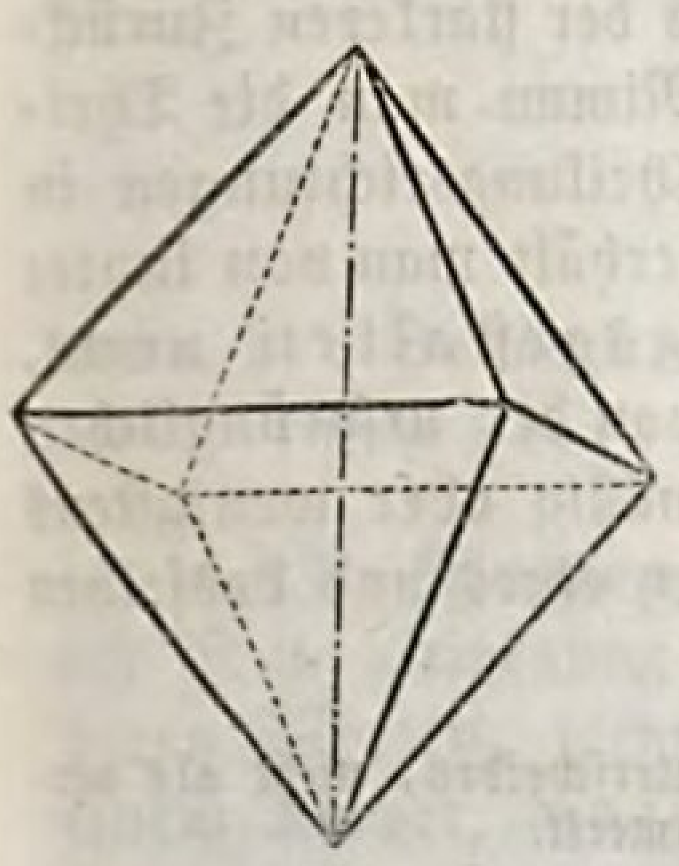
42. Einfache Gestalt. Combination. Krystallgestalten, die von lauter gleichen und ähnlichen, um eine Achse in einerlei Art gelagerten (d. i. gleichnamigen) Flächen z. B. von lauter Quadraten oder lauter gleichseitigen Dreiecken einerlei Lage begrenzt sind, heißen einfache Gestalten, und solche, in deren Begrenzung ungleichnamige Flächen verschiedener einfacher Gestalten enthalten sind, heißen zusammengesetzte Gestalten oder Combinationen. Man heißt die Combination eine zweifache, dreifache u. s. w., je nachdem sie 2, 3 u. s. w. einfache Gestalten enthält, und benennt sie nach den in ihr enthaltenen einfachen Gestalten. Indem man die in einer Combination gleichsam darin steckenden einfachen Gestalten bestimmt, zu welchem Behufe man sich vor Allem die gleichnamigen, einer und derselben einfachen Gestalt angehörigen Flächen bis zur wechselseitigen Durchschneidung verlängert vorstellen muß, entwickelt man die Combination. Folgendes zur Erläuterung des eben Gesagten. Die in den Figuren (23, 26, 27 und 28) abgebildeten Gestalten sind einfache Gestalten, jede derselben ist von Flächen einerlei Art und Lage begrenzt. Die Gestalten in Fig. 25 und 29 sind zweifache Combinationen, nämlich aus dem Hexaeder (Fig. 23) und dem Octaeder (Fig. 27): denn denkt man sich in jeder der Figuren 25 und 29 die vierseitigen, mit **a** bezeichneten Flächen nach allen Seiten hin so weit verlängert, bis sie zusammentreffen, so verschwinden die mit **b** bezeichneten Flächen und es entsteht ein Hexaeder. Bei Verlängerung sämmtlicher dreiseitiger Flächen **b** in Fig. 29 oder sämmtlicher sechsseitiger Flächen **b** der Fig. 25 bis zur Begegnung, verschwinden die mit **a** bezeichneten Flächen und es kommt das Octaeder zum Vorschein.

Fig. 29.



43. Grundgestalten. Die genauere Betrachtung der einfachen Gestalten lehrte, daß man sich alle aus einer geringen Anzahl derselben entstanden denken kann. Zeigen, wie nach einem gewissen, in geometrischen Constructionen bestehenden Verfahren eine einfache Gestalt aus einer andern einfachen Gestalt z. B. das Octaeder (Fig. 27) aus dem Hexaeder (Fig. 23) hervorgebracht werden kann, heißt erstere aus letzterer ableiten. Die einfachen Gestalten, aus welchen alle andern abgeleitet werden, heißen Grundgestalten, und als solche Grundgestalten lassen sich, nach Mohs, leicht und bequem folgende 7 einfache Gestalten gebrauchen, nämlich: das Hexaeder (Fig. 23), das Rhomboeder (Fig. 28), die gleichkantige vierseitige Pyramide (Fig. 30); das Orthotyp oder die gerade ungleichkantige vierseitige Pyramide (man erhält eine Vorstellung von dieser Gestalt, wenn man sich die dreieckigen Begrenzungsflächen in Fig. 30 ungleichseitig denkt,) und dann drei von einander verschie-

Fig. 30.



dene schiefe ungleichkantige vierseitige Pyramiden, unter den Namen: Hemiorthotyp, Hemianorthotyp und Anorthotyp. Auf diese sieben Gestalten läßt sich daher das ganze Heer der mannigfaltigsten Krystallformen, welche die Natur und die Kunst bis jetzt hervorbrachten, zurückzuführen. Aus den zusammengesetzten Gestalten oder Combinationen erhält man durch Entwicklung die einfachen Gestalten, und alle einfachen Gestalten lassen sich aus einer oder der andern der aufgezählten Grundgestalten ableiten, folglich auch umgekehrt auf diese zurückführen.

44. Krystallsysteme. Aus jeder der sieben Grundgestalten, das Hexaeder ausgenommen, können durch Veränderung ihrer Abmessungen (d. i. der Winkel- und Kanten-Dimensionen) verschiedene Formen abgeleitet werden, die jedoch mit der Grundgestalt von einerlei Art (gleichartig) sind. So erhält man z. B. durch die besagte Veränderung aus einer bestimmten vierseitigen gleichkantigen Pyramide eine ganze Reihe verschiedener Gestalten*), die alle gleichkantige vierseitige Pyramiden, also gleichartig sind. Hexaeder (Würfel) d. i. eine von 6 gleichen Quadraten begrenzte Figur, woran jeder ebene und jeder Flächenwinkel = 90° ist, gibt es nur ein einziges. Jede aus einer Grundgestalt abgeleitete gleichartige Gestalt kann dann selbst wieder als Grundgestalt (zur Ableitung anderer Formen daraus) betrachtet werden. Der Inbegriff aller Krystallformen, die sich aus gleichartigen Grundgestalten ableiten lassen, heißt ein Krystallsystem und es gibt somit so viele Krystallsysteme, als Arten von Grundgestalten, nach Mohs daher sieben, deren Benennungen von den Namen der Grundgestalten hergeleitet wurden. Sie sind: 1) das hexaedrische System (auch das tessularische genannt); es ist das einzige System vielaxiger Gestalten, 2) das rhomboedrische, 3) das pyramidale, 4) das orthotype, 5) das hemiorthotype, 6) das hemianorthotype und 7) das anorthotype System.

45. Theilungsgestalt. Kerngestalt. Die Krystalle verdanken ihre äußere regelmäßige oder symmetrische Gestalt einer gewissen regelmäßigen Anordnung ihrer kleinsten Theilchen, welche durch die ganze Masse des Krystalls hindurch Statt findet und sich dadurch deutlich kund gibt, daß sich viele Krystalle (Krystallindividuen, an denen man doch durchaus keine Theile unterscheiden kann) nach gewissen Richtungen mehr oder weniger leicht (entweder schon durch bloßes Daraufschlagen oder mittelst feiner scharfer Meißel oder Messer und Hammer) in Theile, die von glatten ebenen Flächen begrenzt sind, zerlegen, d. i. spalten oder theilen lassen. Die ebenen Flächen, welche durch solche Spaltung oder Theilung entstehen, heißen Theilungsflächen (sie sind von dem durch das Zerbrechen der Krystalle entstehenden, meistens unebenen Bruchflächen wohl zu unterscheiden), und die Richtungen, nach welchen die Theilung Statt findet, oder sich überhaupt vornehmen läßt, heißen Theilungsrichtungen. Es gibt oft in einem und demselben Krystalle mehrere (sechs und darüber) solcher Theilungsrichtungen, welche man an manchen Krystallen aus feinen Streifen oder Sprüngen erkennt, die sie nach diesen Richtungen zeigen, in vielen Fällen aber nur dadurch aufgefunden werden, daß man den Krystall unter verschiedenen Lagen in hellem Lichte betrachtet, und aus der stärkeren Zurückwerfung desselben auf die Lage der Theilungsflächen schließt. Nimmt man die Theilung eines Krystalles wenigstens nach drei verschiedenen Theilungsrichtungen in Wirklichkeit oder in Gedanken allmälig weit genug vor, so erhält man von lauter Theilungsflächen begrenzte Gestalten, die man Theilungsgestalten nennt, und die, bei fortgesetzter Theilung immer kleiner werdend, von der ursprünglichen Gestalt sehr verschieden sein können, doch aber immer regelmäßig oder wenigstens symmetrisch sind. Die größte aller möglichen Theilungsgestalten eines und desselben

*) Daß Gestalten, die sich nur durch ungleiche Größe von einander unterscheiden, nicht als verschieden zu betrachten sind, wurde schon früher (41) ausdrücklich bemerkt.

Krystalls heißt, nach Hauy, dem Gründer der wissenschaftlichen Krystallkunde, Kerngestalt (primitive Form).

46. Innere Struktur der Krystalle. Es gibt nur sechs verschiedene, der so großen Zahl mannigfaltiger Krystallgestalten zu Grunde liegende Kerngestalten. Denkt man sich die Kerngestalt und die bereits abgelösten Schichten (Blätter) noch weiter getheilt, und diese Theilung bis zu für die Sinne verschwindend kleinen Theilungsgestalten fortgesetzt, so erhält man die sogenannten Ergänzungstheilchen, welche nach Hauy die Elemente aller Krystallgestalten bilden und nur eine der drei geometrisch einfachsten Formen, d. i. des Tetraeders, eines dreiseitigen Prisma's oder eines Parallelepipeds besitzen können. Hauy nimmt an, daß durch schichtenweises Aneinandersetzen dieser Ergänzungstheilchen zuerst die Kerngestalten und durch nachherige Ablagerung von Schichten dieser Theilchen auf die Flächen der Kerngestalten die übrigen (sekundären) Krystallformen entstehen. Die Verschiedenheit dieser Krystallformen erklärt er aus der verschiedenen Gestalt der Ergänzungstheilchen und aus der verschiedenen Art ihrer Anordnung und Verbindung. In letzterer Beziehung nimmt er an, die sich übereinander lagernden Schichten behalten nicht immer die nämliche Größe und Gestalt, sondern nehmen in dem Maße stufenweise ab, als sie sich vom Kerne entfernen, und dieses Abnehmen (Decrescenz) geschehe dadurch, daß in den Schichten entweder in mit den Kanten gleichlaufenden Richtungen oder in mit einer Diagonale der Auflagerungsfläche paralleler Richtung Molekel in gewisser Anzahl, (Decrescenz an den Kanten und intermediäre Decrescenz) ausbleiben. Hiedurch entstehe zwar eine treppenartige Lagerung der Molekel, die Krystallflächen erscheinen aber doch eben, weil wegen der Kleinheit der Molekel die Treppeneinschnitte für die Sinne verschwinden. In der schichtenweisen Anordnung der Ergänzungstheilchen findet man den Grund der Spaltbarkeit und des Entstehens ebener Theilungsflächen hiebei, und die Gestalten der Ergänzungstheilchen sucht man durch die Annahme zu erklären, daß die Atome der Körper von ebenen Flächen begrenzte Formen haben, und es sind diese Gestalten ein Grund mehr für die im §. 9 gemachte Voraussetzung, daß die Formen der Atome je nach der Natur und materiellen Beschaffenheit der Körper verschieden sind, ohne daß man jedoch nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft etwas Nähreres über diese Formen anzugeben vermag.

Außer den bisher besprochenen besonderen physikalischen Eigenschaften der Körper gibt es noch viele andere, von welchen jedoch erst später bei Abhandlung derjenigen physikalischen Erscheinungen die Rede sein wird, mit denen sie im innigen Zusammenhange stehen. Wir gehen nun zu einer genaueren Betrachtung der räumlichen Veränderungen über, welche in der gegenseitigen Lage der Körper oder ihrer Theile vor sich gehen.

III. Abschnitt.

Von der Bewegung und vom Gleichgewichte im Allgemeinen und insbesondere fester Körper in Bezug auf Kräfte überhaupt.

47. Bewegung. Gleichgewicht. Bewegende Kräfte. Ein Körper ist in Bewegung (bewegt sich), wenn er seinen Ort verändert, oder, mit anderen Worten, wenn er sich nach und nach an verschiedenen Orten befindet. Von einem Körper, der seinen Ort nicht verändert, sagt man, er sei in Ruhe (er ruhe).

Ob ein Körper sich in Ruhe oder in Bewegung befinde, läßt sich nur aus seiner Lage gegen andere Körper beurtheilen. Es kann aber ein Körper in Bezug auf gewisse Körper ruhen, in Bezug auf andere sich bewegen (so ist ein auf einem stromabwärts fahrenden Schiffe sitzender Mensch in Bezug auf das Schiff in Ruhe, in Bezug auf die Gegenstände am Ufer aber in Bewegung). Wegen der Trägheit (§. 6) kann kein Körper selbstständig seinen Ort verändern, sich selbst in Bewegung setzen, sondern es ist dazu immer die Einwirkung einer äußern Ursache nöthig. Diese äußere Ursache einer Bewegung heißt bewegende Kraft, und das, was durch eine solche Kraft wirklich bewegt wird, oder bewegt werden soll, heißt das Bewegliche. Alles, was man mit dem Worte Kraft bezeichnet, erzeugt entweder wirklich Bewegung, oder sucht wenigstens eine solche zu erzeugen. Wirkt eine Kraft auf ein Bewegliches ein, so muß immer Bewegung erfolgen, wenn nicht die Wirkung der bewegenden Kraft durch eine andere solche Kraft oder durch einen Widerstand (ein Hinderniß) aufgehoben wird, in welchem Falle man sagt, es herrsche Gleichgewicht. Die Lehre von der Bewegung heißt Dynamik und die Lehre vom Gleichgewichte heißt Statik, beide zusammen machen die Mechanik aus. — Bei jeder auf einen Körper wirkenden Kraft kommt in Betracht: 1) der Angriffspunkt, d. i. der Punkt, auf den sie unmittelbar wirkt; 2) die Richtung, d. i. die durch den Angriffspunkt gehende Linie, nach welcher die Kraft diesen Punkt zu bewegen sucht, und 3) die Größe oder Intensität. Die Größe oder Intensität einer Kraft läßt sich nur nach ihrer Wirkung (Bewegung oder Streben, eine solche zu erzeugen, welches sich durch Druck oder Zug äußert) schätzen. So mißt man Kräfte nach den Gewichten, denen sie das Gleichgewicht zu halten vermögen. Indem man die Intensität einer Kraft als Einheit annimmt und damit die Intensitäten anderer gleichartiger Kräfte vergleicht, erhält man für sie Zahlen, welche anzeigen, wie vielmal größer oder kleiner diese Kräfte sind als die angenommene Krafteinheit. Kräfte lassen sich demnach durch Zahlen ausdrücken und daher ebenfalls durch Linien vorstellen, deren Längen sich so verhalten, wie die die Kräfte repräsentirenden Zahlen. Aus dem Zusammenwirken zweier, dreier u. s. w. gleicher Kräfte nach einerlei Richtung entspringt eine Kraft, deren Intensität das Doppelte, Dreifache u. s. w. der Intensität jeder einzelnen dieser Kräfte ist. Bei den meisten Bewegungen genügt es zum Behufe der Ermittlung ihrer Gesetzmäßigkeit und dessen, was man von denselben zu wissen nöthig hat, nur einen einzigen materiellen Punkt (ein Massetheilchen, ein Molekel) des Beweglichen zu betrachten. Die Linie, welche ein sich bewegender Punkt bei einer stetigen Ortsveränderung beschreiben muß, wird seine Bahn oder sein Weg genannt. Je nachdem die Bahn eine gerade oder krumme Linie ist, heißt die Bewegung gerad- oder krummlinig. Bei der geradlinigen Bewegung behält das Bewegliche immer die nämliche Richtung, und diese wird durch die Bahn selbst, so wie durch jedes Stück oder jede Verlängerung derselben bestimmt; bei der krummlinigen Bewegung hingegen hat das Bewegliche in jedem Punkte seiner Bahn eine andere Richtung, welche durch die zu dem betreffenden Punkt gezogene Tangente angezeigt wird, vorausgesetzt, daß man die Tangente nach der Seite hin betrachtet, nach welcher die Bewegung Statt findet. Außer dem Wege, den ein sich bewegender materieller Punkt zurücklegt, kommt auch noch die Zeit in Betracht, in welcher dieses geschieht, und man muß die Zeiten, während welchen gewisse Wege zurückgelegt werden, mit einander vergleichen, man muß sie messen können. Dazu sind Zeiteinheiten erforderlich. Die Haupteinheit bildet fürs bürgerliche, praktische Leben der mittlere Sonnentag (der Tag nach mittlerer Sonnenzeit). Man theilte den mittleren Sonnentag in 24 Stunden, die Stunde in 60 Minuten, die Minute in 60 Sekunden und die Sekunde in 60 Tertien, und erhielt so verschiedene Zeiteinheiten, deren Größe am leichtesten aus den Anzeigen der (Räder-, nicht aber Sonnen-Uhren, welche erstere gewöhnlich

nach mittlerer Zeit gehen, erkannt wird *). Daß man größere Zeiträume auch nach Monaten und Jahren mißt, ist eine allbekannte Sache. So oft in der Folge von der Zeiteinheit geredet wird, ist damit immer eine Sekunde nach mittlerer Sonnenzeit gemeint. Sollte dies nicht der Fall sein, so wird es ausdrücklich bemerkt werden. Unter Zeit überhaupt wird man sich demnach stets eine gewisse Anzahl Sekunden zu denken haben.

Wirkt die bewegende Kraft auf das Bewegliche nur durch eine unmeßbar kleine Zeit (einen Augenblick) ein und überläßt es sich dann selbst, so nennt man die Kraft eine momentane (momentan wirkende), während man bewegende Kräfte, deren Einwirkung auf das Bewegliche eine meßbare Zeit hindurch ununterbrochen fortdauert, continuirliche (continuirlich wirkende) nennt. Eine continuirliche Kraft heißt beständig (constant), wenn sie auf das Bewegliche stets mit gleicher Stärke einwirkt; im entgegengesetzten Falle heißt sie veränderlich. Sind die Wege, die das Bewegliche in gleichen (noch so kleinen oder noch so großen) Zeiten zurücklegt, gleich, so heißt die Bewegung gleichförmig, sonst ungleichförmig.

48. Gleichförmige Bewegung. Eine momentane Kraft erzeugt immer eine geradlinige und eine gleichförmige Bewegung; denn diese Kraft wirkt auf das Bewegliche nur einen Augenblick ein, setzt dasselbe dadurch nach einer bestimmten Richtung in Bewegung und ertheilt ihm die Eigenschaft, in einer bestimmten Zeit t einen gewissen Weg zurückzulegen; das Bewegliche, nachher sich selbst überlassen, kann aber in Folge der Trägheit die erlangten Zustände nicht ändern und muß sich daher immer in der nämlichen Richtung, also geradlinig und so, daß es in jeder der aufeinanderfolgenden Zeiten von der Größe t einen gleich großen Weg zurücklegt, d. h. ohne Ende fort gleichförmig bewegen. Das Verhältniß des mit gleichförmiger Bewegung zurückgelegten Weges zu der Zeit, in welcher dieser Weg zurückgelegt wurde, bestimmt das, was man Geschwindigkeit des Beweglichen nennt. Je größer der Weg ist, den ein Bewegliches in einer bestimmten Zeit gleichförmig durchläuft, oder je kleiner die Zeit ist, in welcher sich dasselbe durch einen bestimmten Weg gleichförmig bewegt, eine desto größere Geschwindigkeit besitzt es. Das Maß der Geschwindigkeit ist der in die Zeiteinheit gleichförmig zurückgelegte und in den bekannten Längeneinheiten (Fuß, Klafter u. s. w.) ausgedrückte Weg, und dieser ist künftig immer unter Geschwindigkeit zu verstehen. Die Geschwindigkeit des Schalles ist 1050 Wien. Fuß heißt demnach, der Schall bewegt sich in 1 Sekunde gleichförmig durch einen Weg von 1050 Wien. Fuß.

Einige andere Geschwindigkeiten in Pariser Fuß ausgedrückt sind: die mittlere Geschwindigkeit der Flüsse 3—4; die Geschwindigkeit der schnellsten Ströme 12·5; mäßig starken Windes 10; des Sturmes 50; der heftigsten Orkane 120; einer Flintenkugel höchstens 1500; einer 24pfünd. Kanonenkugel höchstens 2300; eines Punktes der Erdoberfläche unter dem Aequator bei der Axendrehung 1431·5; des Mittelpunktes der Erde beim Lauf um die Sonne 94825; eines Adlers 95·2; eines Pferdes 12; des Rennthieres vor einem Schlitten 25; eines Windhundes 78; eines schnell segelnden Schiffes 14.

Ist z. B. 10 Fuß die Geschwindigkeit, womit das Bewegliche gleichförmig fortgeht, so wird dieses (da bei der gleichförmigen Bewegung in den aufeinanderfolgenden gleichen Zeiten stets gleiche Wege zurückgelegt werden) in 2, 3, 4 . . . Sekunden offenbar die Wege 2. 10 Fuß, 3. 10 Fuß, 4. 10 Fuß . . . . durchlaufen. Man erhält also den Weg, den das Bewegliche in einer bestimmten Zeit

*) Von dem mittleren Sonnentage verschieden ist der wahre Sonnentag und der Sterntag: ersterer ist bald größer bald kleiner, und letzterer immer um 3 Minuten 55,9 Sekunden mittlerer Sonnenzeit kürzer als ein mittlerer Sonnentag. Auch der wahre Sonnen- und der Sterntag werden in ebenso viele Stunden, Minuten, Sekunden und Tertien eingetheilt, wie der mittlere Sonnentag.

(Anzahl Sekunden) zurücklegt, wenn man die Geschwindigkeit mit dieser Zeit multiplicirt, und dieser Weg erscheint immer durch die nämlichen Längeneinheiten ausgedrückt, wie die Geschwindigkeit. Bezeichnet allgemein c die Geschwindigkeit (also eine gewisse Anzahl in 1 Sekunde durchlaufener Längeneinheiten), t die Zeit der Bewegung (d. i. eine unbenannte Zahl, welche anzeigt, wievielmal größer oder kleiner die Zeit t ist als eine Sekunde), und endlich s den Weg, der in der Zeit t gleichförmig zurückgelegt wird, so ist

$$s = ct; \text{ daraus } c = \frac{s}{t} \text{ und } t = \frac{s}{c} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

und diese drei Gleichungen dienen zur Bestimmung jeder der drei bei der gleichförmigen Bewegung in Betracht kommenden Größen, Weg, Geschwindigkeit und Zeit, wenn die zwei andern bekannt sind.

Alle Kräfte, diese außer dem Bereiche unserer Sinne gelegenen Ursachen der Erscheinungen, lassen sich nur aus ihren Wirkungen erkennen und nach denselben beurtheilen. Die Wirkung einer momentanen Kraft besteht nun einzig in der Geschwindigkeit, die sie einem Beweglichen ertheilt, und man muß von zwei momentanen Kräften jene für 2, 3 . . . nmal größer als die andere ansehen, welche einem und demselben Beweglichen unter gleichen Umständen eine 2, 3 . . . nmal größere Geschwindigkeit ertheilt, d. h. man muß die momentanen Kräfte P, p den durch sie einem und demselben Beweglichen ertheilten Geschwindigkeiten C, c proportional setzen, so daß die Proportion $P : p = C : c$ gilt. Ist das Bewegliche nicht bloß ein einziger materieller Punkt, sondern ein Aggregat solcher Punkte, ein Körper, so hängt die Geschwindigkeit, die dasselbe durch eine momentane Kraft erhält, nicht bloß von der Größe dieser Kraft, sondern auch von der Menge der vorhandenen materiellen Punkte, d. i. von der Größe der Masse ab, deren Trägheit von der bewegenden Kraft überwunden werden muß. Es kann diese Kraft offenbar einem jeden Punkt des Beweglichen und somit der ganzen Masse desselben nur eine desto kleinere Geschwindigkeit ertheilen, unter je mehrere Punkte sie ihre Wirksamkeit vertheilen muß, d. h. je größer die Masse des Beweglichen ist; gleich großen Massen aber wird die nämliche Kraft (oder was ganz dasselbe ist), werden gleiche Kräfte immer gleiche Geschwindigkeiten ertheilen müssen. Soll aber die eine dieser zwei gleichen Massen eine 2, 3 . . . . nmal größere Geschwindigkeit erhalten, so kann dieß nur durch eine 2, 3 . . . . nmal größere Kraft geschehen; es müssen sich daher die zwei Kräfte, welche zwei gleichen Massen ungleich große Geschwindigkeiten ertheilen sollen, gerade wie diese Geschwindigkeiten verhalten . . (†) Soll andererseits einer Masse, die 2, 3 . . . nmal größer ist als eine andere, eine ebenso große Geschwindigkeit ertheilt werden, als der kleinern, so gehört dazu nothwendig eine 2, 3 . . . . nmal größere Kraft; es müssen sich demnach zwei momentane Kräfte, damit sie zwei verschiedene Massen mit gleicher Geschwindigkeit in Bewegung setzen können, gerade so verhalten, wie die Massen . . (††). Bezeichnen daher M und m die verschiedenen Massen zweier Körper A_1 und A_2, welchen die ungleich großen, momentanen Kräfte P, p die Geschwindigkeiten C, c ertheilen, und man denkt sich noch einen dritten Körper A_3 hinzu, dessen Verhalten zu den Körpern A_1 und A_2 bezüglich der Masse der auf ihn einwirkenden momentanen Kraft und der dadurch erlangten Geschwindigkeit aus folgender Zusammenstellung ersichtlich ist:

A_1	A_2	A_3
M	m	M
C	c	c
P	p	P_1

so ergibt sich aus der Vergleichung des Körpers A_1 mit A_3 zu Folge des Satzes (†) die Proportion $P : P_1 = C : c$. Durch Vergleichung des Körpers A_3 mit A_2 er-

hält man ferner nach Satz (††) die Proportionen $P_1 : p = M : m$ und durch Multiplikation dieser zwei Proportionen folgt endlich die Proportion

$P : p = MC : mc$ . . . . (22)

Nimmt man nun als Einheit zum Messen der momentanen Kräfte diejenige Momentankraft an, welche der Massen-Einheit eine der Geschwindigkeits-Einheit gleiche Geschwindigkeit ertheilt und läßt **P** diese Einheit der momentanen Kräfte bedeuten, so ist $P = 1$, $C = 1$ und $M = 1$; die Proportion (22) verwandelt sich daher in $p : 1 = mc : 1$ und hieraus folgt: $p = mc$ . . . . . (23) d. h. jede (von der Einheit der Momentankräfte verschiedene) momentane Kraft läßt sich ausdrücken durch das Produkt aus der Masse in die Geschwindigkeit, welche sie dieser Masse ertheilt.

Dieses Produkt heißt die Größe der Bewegung der Masse m.

Es versteht sich nach dem Vorgesagten von selbst, daß in der Gleichung (23) m und c bloß unbenannte Zahlen bedeuten (m ist eine Zahl, welche anzeigt, wie vielmal die Masse, auf welche die Kraft p wirkt, größer oder kleiner ist als die Masse-Einheit, und ebenso ist c eine unbenannte Zahl, welche angibt, wie vielmal die Geschwindigkeits-Einheit in der Geschwindigkeit enthalten ist, welche die Kraft p der Masse m ertheilt), und daß somit auch p selbst immer eine unbenannte Zahl sei, welche anzeigt, wie vielmal größer oder kleiner diese momentane Kraft ist als die Momentankraft, welche der Masse = 1, die Geschwindigkeit = 1 zu ertheilen vermag. Ist z. B. die Masse eines Körpers 5 (d. h. 5mal größer als die Masse-Einheit) und soll eine Kraft x dieser Masse 5 eine Geschwindigkeit 3, d. i. eine Geschwindigkeit, die 3mal größer ist als die Geschwindigkeits-Einheit, ertheilen, so muß diese momentane Kraft $x = 15$, d. h. 15mal größer sein als die Monmentankraft, welche in der Masse-Einheit eine der Geschwindigkeits-Einheit gleiche Geschwindigkeit erzeugt.

Setzt man in der Gleichung $s = ct$ S. 62 für c den aus der Gleichung (23), d. i. $p = mc$ folgenden Werth $c = \frac{p}{m}$, so erhält man $s = \frac{pt}{m}$ d. i. eine Gleichung für den Weg, den die Masse m in der Zeit t unter Einwirkung der Momentankraft p zurücklegt. Haben s_1, p_1, und t_1 die nämliche Bedeutung für die Masse m_1, wie s, p und t für die Masse m, so hat man auch $s_1 = \frac{p_1 t_1}{m_1}$ und daher aus beiden Gleichungen $s : s_1 = \frac{pt}{m} : \frac{p_1 t_1}{m_1}$. Setzt man nun $m = m_1$ und $t = t_1$, so ist $s : s_1 = p : p_1$ . . . . (24) d. h. die Wege, welche gleiche Massen in gleichen Zeiten unter der Wirkung zweier Momentankräfte zurücklegen, sind diesen Kräften direkt proportional.

49. Ungleichförmige Bewegung. Eine Bewegung, bei welcher in aufeinanderfolgenden gleichen Zeiten ungleiche Wege zurückgelegt werden oder mit andern Worten, bei welcher sich die Geschwindigkeit beständig ändert, heißt eine ungleichförmige oder veränderliche Bewegung; wächst die Geschwindigkeit, so heißt die Bewegung beschleunigt, nimmt die Geschwindigkeit ab, so heißt die Bewegung verzögert. Nimmt bei einer veränderlichen Bewegung die Geschwindigkeit in demselben Verhältnisse zu oder ab, in welchem die Zeit wächst . . (a), so heißt die Bewegung eine gleichförmig beschleunigte oder gleichförmig verzögerte. Für unsere Zwecke genügt es, nur die gleichförmig beschleunigte Bewegung genauer ins Auge zu fassen. Sie wird erzeugt durch eine beständige (constante) Kraft, welche sich als eine Summe gleicher Momentankräfte, die ohne Zwischenzeit nach einander wirken, betrachten läßt . . (b). Diese Betrachtung, und der durch die Erfahrung vielfach erwiesene Satz, daß eine momentane Kraft auf ein Bewegliches genau dieselbe Wirkung habe, d. h. demselben ganz die nämliche Geschwindigkeit ertheile, es mag sich dasselbe in Ruhe oder durch eine andere Kraft bereits in Bewegung versetzt befinden . . (d), wer-

den uns im Folgenden bei Entwicklung der Gesetze der gleichförmig beschleunigten Bewegung leiten *).

30. Gleichförmig beschleunigte Bewegung. Bezeichnet t die Zeit, durch welche eine constante Kraft, also nach (b) eine Summe gleicher Momentankräfte (und wir wollen jede dieser Momentankräfte der Kürze halber einen Impuls nennen) auf einen materiellen Punkt einwirkt, und denkt man sich vor der Hand, jeder der Impulse folge auf den unmittelbar vorhergegangenen immer nach der sehr kleinen Zeit $\frac{t}{n} = \tau$ . . (e) und ertheile dem beweglichen Punkt die Geschwindigkeit v, so wird dieser, da er sich bis zum Eintritt des folgenden Impulses, d. i. durch die Zeit τ gleichförmig bewegt, in diesem ersten Zeittheilchen τ nach der 1. der Formeln (21) S. 62 den Weg $s_1 = v\tau$ zurücklegen. Folgt dann der zweite Impuls, welcher nach (d) die bereits erlangte Geschwindigkeit v des beweglichen Punktes wieder um v vermehrt, so wird dieser während des zweiten Zeittheilchens τ mit der Geschwindigkeit 2v fortgehen und somit aus dem nämlichen Grunde wie vor, während dieses zweiten Zeittheilchens den Weg $s_2 = 2v\tau$ durchlaufen, also nach Verlauf von zwei Zeittheilchen τ, d. i. in der Zeit 2τ den Weg $s_1 + s_2 = v\tau + 2v\tau$ zurückgelegt haben. In Folge des dritten Impulses steigt die während des zweiten Zeittheilchens erlangte Geschwindigkeit 2v wieder auf 3v, der Punkt wird daher im dritten Zeittheilchen τ den Weg $s_3 = 3v\tau$ zurücklegen und somit nach der Zeit 3τ den Weg $s_1 + s_2 + s_3 = v\tau + 2v\tau + 3v\tau$ durchlaufen haben. Schließt man so fort, so ergibt sich, daß der bewegliche Punkt im 4ten, 5ten, 6ten . . . . nten Zeittheilchen τ die Geschwindigkeit 4v, 5v, 6v . . . . nv erlange und die Wege $4v\tau$, $5v\tau$, $6v\tau$, ... $nv\tau$ zurücklege, somit für den Weg s, den er in n Zeittheilchen τ, d. i. in der Zeit $n\tau = t$ (e), also in der ganzen Zeit seiner Bewegung durchläuft, die Gleichung bestehe $s = v\tau + 2v\tau + 3v\tau + \ldots . nv\tau$ . . . (f) oder $s = v\tau\,(1 + 2 + 3 \ldots . n)$. Wird die arithmetische Reihe innerhalb der Klammern summirt, so ist

$$s = v\tau\,(1 + n)\,\frac{n}{2} = v\tau\left(\frac{n}{2} + \frac{n^2}{2}\right) = \frac{v\tau n^2}{2n} + \frac{v\tau n^2}{2} = \frac{nv.n\tau}{2n} + \frac{nv.n\tau}{2}.$$

nv ist nach (f) die Geschwindigkeit, die der in Bewegung befindliche Punkt im letzten Zeittheilchen τ erlangt hat, mit welcher er sich also vermöge der Trägheit gleichförmig fortbewegen müßte, wenn nach Verlauf der Zeit t die bewegende Kraft zu wirken aufhörte, und heißt deswegen die Endgeschwindigkeit; sie soll immer mit dem Buchstaben c bezeichnet werden. Ferner folgt aus (e) $n\tau = t$, somit hat man $s = \frac{ct}{2n} + \frac{ct}{2}$. Denkt man sich nun n unendlich groß werdend (d. i. $n = \infty$), so wird gemäß (e) τ unendlich klein, d. h. die momentanen Impulse der bewegenden Kraft folgen nach unendlich (verschwindend) kleinen Zeiten aufeinander und bilden so zusammen eine continuirlich wirkende constante Kraft. Es ist dann $s = \frac{ct}{2\infty} + \frac{ct}{2}$, und da $\frac{ct}{2\infty}$ als ein Bruch mit endlichem Zähler und unendlich großem Nenner als etwas unendlich Kleines verschwindet, hat man

$$s = \frac{ct}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (25)$$

*) Setzt z. B. irgend eine Momentankraft P ein Bewegliches aus dem Zustande der Ruhe mit 6 Fuß Geschwindigkeit in Bewegung, so erhält dasselbe auch in dem Falle, daß es sich in dem Augenblick des Einwirkens der Kraft P nicht in Ruhe, sondern schon z. B. mit einer Geschwindigkeit von 4 Fuß in Bewegung befindet, durch die Kraft P die nämliche Geschwindigkeit von 6 Fuß als Zuwachs. Es wird nachher also 10 Fuß Geschwindigkeit haben.

als die Gleichung für den Weg, den ein materieller Punkt unter dem Einflusse einer constanten Kraft, also mit gleichförmig beschleunigter Bewegung zurücklegt.

Da zu Folge des Charakters der gleichförmig beschleunigten Bewegung, wie unter (a) in **49** angegeben wurde, die Geschwindigkeiten in demselben Verhältnisse wachsen wie die Zeiten, so ist, wenn g die in der Zeiteinheit erzeugte Geschwindigkeit, (die man, weil sie in jeder folgenden Zeiteinheit immer wieder zuwächst und die Bewegung charakterisirt, Beschleunigung oder Acceleration heißt,) und c, wie eben vorher gesagt worden, die Endgeschwindigkeit, d. i. die in der ganzen Zeitdauer t der Bewegung erzeugte Geschwindigkeit bezeichnet, $g : c = 1 : t$, somit $c = gt$ . . . . (26)

Wird in (25) der Werth von c aus (26) substituirt, so erhält man $s = \frac{gt^2}{2}$ (27)

und hieraus $t = \sqrt{\frac{s2}{g}}$ . . . . (28)

so wie $g = \frac{2s}{t^2}$ . . . . (29)

Endlich folgt durch Substituirung des Werthes von t aus (28) in die Gleichung (26) $c = \sqrt{2gs}$ . . . . (30)

Diese Gleichungen (25) bis (30) dienen zur Berechnung aller bei gleichförmig beschleunigten Bewegungen in Betracht kommenden Größen, nämlich: des Weges, der in einer bestimmten Zeit t zurückgelegt wird, der Dauer der Bewegung, der Acceleration und der Endgeschwindigkeit.

51. Maß constanter Kräfte. Ist das Bewegliche nicht bloß ein materieller Punkt, sondern ein Körper, so gelten für die gleichförmig beschleunigte Bewegung dieses letzteren natürlich die nämlichen Formeln (25) bis (30), vorausgesetzt, daß alle seine Punkte sich neben einander in ganz gleicher Weise bewegen; denn es braucht dann offenbar der ganze Körper zum Durchlaufen eines bestimmten Weges die nämliche Zeit und Geschwindigkeit, wie jeder einzelne seiner Punkte. Anders verhält es sich aber, wenn man um die Größe der constanten Kraft **P** fragt, welche auf einen Körper von der Masse **M** einwirken muß, um demselben eine bestimmte Beschleunigung zu ertheilen. Diese Kraft muß offenbar desto größer sein, je mehrere Massetheilchen eine bestimmte Beschleunigung erhalten sollen, d. h. je größer die Masse des Körpers ist, und je größer die Beschleunigung der ganzen Masse ausfallen soll. Bedeuten p und p_1 die constanten Kräfte, welche den verschiedenen Massen m und m_1 die Beschleunigungen g und g_1 ertheilen, so ergibt sich auf dem nämlichen Wege, wie auf S. 62 (unter zu Hilfenahme noch einer dritten Masse m, die durch eine constante Kraft p_2 die Beschleunigung g_1 erhalten soll, und paarweiser Vergleichung dieser drei Körper untereinander) die Proportion: $p : p_1 = mg : m_1 g_1$. Läßt man nun m_1 die Masse-Einheit und g_1 die Geschwindigkeits-Einheit sein, so ist p_1 die constante Kraft, die der Masse-Einheit die Geschwindigkeits-Einheit als Beschleunigung ertheilt; wählt man ferner diese Kraft p_1 als Einheit zum Messen der constanten Kräfte, so ist $m_1 = 1$, $g_1 = 1$ und $p_1 = 1$ und somit $p : 1 = mg : 1$ oder

$$p = mg \quad . . . . (31)$$

Wäre z. B. die Masse eines Körpers $= \frac{1}{2}$ (halbsogroß als die Masse-Einheit) und er soll die Acceleration 4 (d. i. eine Acceleration, die 4mal größer ist, als die Geschwindigkeits-Einheit) erhalten, so gehört nach (31) dazu die constante Kraft $= \frac{1}{2} . 4 = 2$, d. h. eine Kraft, die 2mal größer ist, als die Kraft, welche im Stande ist, der Masse-Einheit die Geschwindigkeits-Einheit als Beschleunigung zu ertheilen.

Sucht man aus der Gleichung (31) den Werth von g und setzt ihn in die

Gleichung (27), so erhält man $s = \frac{pt^2}{2m}$ .... (f) d. i. den Weg, den die Masse m unter Einwirkung der constanten Kraft p in der Zeit t durchläuft. Haben s_1, p_1 und t_1 die nämliche Bedeutung für die Masse m_1, wie s, p und t für die Masse m, so ist auch $s_1 = \frac{p_1 t_1^2}{2m_1}$ .... (g) und aus (f) und (g) folgt die Proportion $s : s_1 = \frac{pt^2}{2m} : \frac{p_1 t_1^2}{2m_1}$. Denkt man sich endlich die beiden constanten Kräfte p, p_1 auf eine und die nämliche Masse und durch gleiche Zeiten wirkend, wo dann $m = m_1$ und $t = t_1$ ist, so hat man

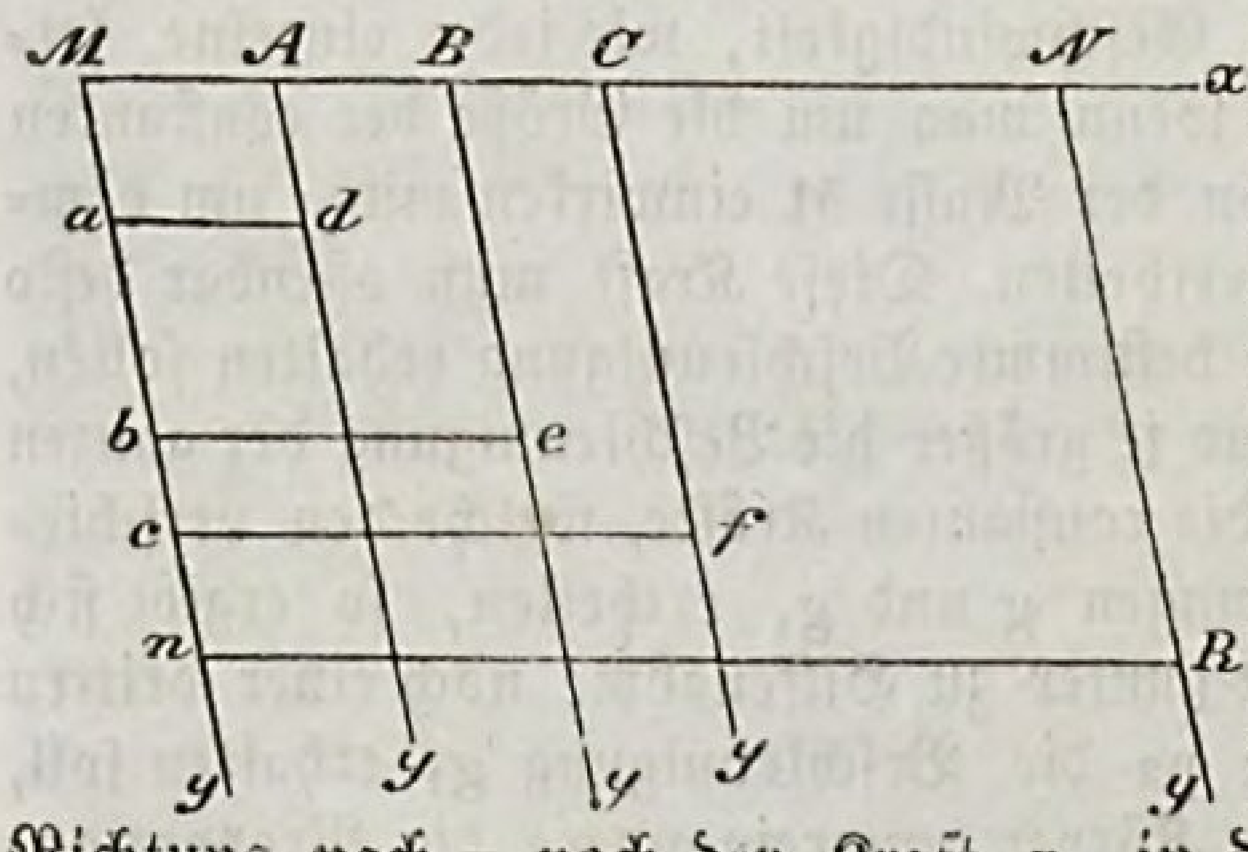
$$s : s_1 = p : p_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (32)$$

d. h. die Intensitäten constanter Kräfte verhalten sich gerade wie die Räume, durch welche sie gleiche Massen (oder eine und dieselbe Masse) in gleichen Zeiten bewegen.

52. Maß veränderlicher Kräfte. Um die Intensität einer veränderlichen Kraft, welche immer eine ungleichförmig beschleunigte, d. h. eine Bewegung erzeugt, bei welcher die Geschwindigkeitsänderung in den einzelnen Zeiteneinheiten nicht dieselbe Größe hat, beurtheilen und messen zu können, muß man diese Kraft in dem Augenblick, in welchem sie gemessen werden soll, ein unendlich kleines Zeittheilchen hindurch als constant ansehen und mit einer andern constanten Kraft von bekannter Größe vergleichen. Die beiden Kräfte sind dann den unendlich kleinen Geschwindigkeitsänderungen proportional, die sie während des unendlich kleinen Zeittheilchens an dem nämlichen Beweglichen hervorbringen. Die Betrachtung der Gesetze ungleichförmig beschleunigter Bewegungen muß mit Ausnahme dessen, was hierüber an andern Stellen dieses Buches gelegentlich vorgetragen wird, der Mechanik anheimgestellt bleiben.

53. Zusammensetzung der Bewegungen. Gesetzt, es wirken auf einen und denselben materiellen Punkt M (Fig. 31) zwei Kräfte, die eine p würde, wenn sie allein wirkte, diesen Punkt längst der geraden Linie Mx in den Zeiten t_1, t_2, t_3 .... t durch die Wege MA, MB, MC .... MN bewegen, und wäre nur allein die zweite Kraft p_1 auf den Punkt M wirksam, so würde derselbe in den nämlichen Zeiten (t_1, t_2, t_3 ... t) längst der geraden Linie My die Wege Ma, Mb, Mc ... Mn zurücklegen. Wirken nun gleichzeitig beide Kräfte auf M ein, so kann dieser Punkt weder der Kraft p in der Richtung nach x noch der Kraft p_1 in der Richtung nach y hin folgen, sondern wird eine Bewegung nehmen, von welcher man eine richtige Vorstellung erhält, wenn man sich denkt, der Punkt M führe, während er einer der beiden Kräfte, z. B. der Kraft p (in der Richtung nach x hin) folgt, die Linie My, längst welcher ihn die zweite Kraft p_1 zu bewegen sucht, so mit sich fort, daß diese Linie ihrer ursprünglichen Lage immer parallel bleibt. Es wird dann offenbar am Ende der Zeiten t_1, t_2, t_3 ... t diese Linie die Stellungen Ay, By, Cy ... Ny haben, und der Punkt M wird, da er in jedem Augenblick durch die Kraft p_1 längst dieser Linie fortgetrieben wird, nicht in den Punkten A, B, C ... N ankommen können, sondern von denselben und zwar in der Richtung der Kraft p_1 (mithin in den Linien Ay, By, Cy ... Ny) um die Wege Ad = Ma, Be = Mb, Cf = Mc und endlich NR = Mn abgelenkt sein müssen. Der Punkt M wird sich daher unter der gleich-

Fig. 31.



zeitigen Wirkung der beiden Kräfte p und p_1 zu Ende der Zeiten t_1, t_2, t_3 ... t in den Punkten d, e, f... R befinden, und in der Zeit t eine Bahn beschreiben, die von M bis R reicht, von welcher M, d, e, f... R einzelne Punkte sind und deren Gestalt von dem Gesetze abhängt, nach welchem die Kräfte p und p_1 wirken. Die Bewegung des Punktes M in der Bahn Mdef... R ist offenbar durch Zusammensetzung der zwei Bewegungen nach den Richtungen Mx und My entstanden und heißt daher die zusammengesetzte oder resultirende Bewegung, während die Bewegungen, aus denen sie zusammengesetzt ist, zusammensetzende oder componirende Bewegungen genannt werden. Zieht man von den Punkten a, b, c, ... n nach den Punkten d, e, f, ... R hin gerade Linien und verbindet in Gedanken auch jeden der Punkte d, e, f... R durch eine gerade Linie mit dem Punkte M, so erhält man die Parallelogramme MAda, MBeb, MCfc ... MNRn mit den Diagonalen Md, Me, Mf... MR, und es kann folgender Satz ausgesprochen werden: Wenn auf einen und denselben materiellen Punkt eine gewisse Zeit (t) hindurch gleichzeitig zwei Kräfte wirken, wovon jede für sich ihm eine geradlinige Bewegung zu ertheilen sucht, so wird der Punkt sich nach Verlauf dieser Zeit t am Ende der Diagonale desjenigen Parallelogramms befinden, welches mit den (durch gerade Linien dargestellten Wegen) construirt werden kann, die der Punkt in der nämlichen Zeit t zu Folge der einzelnen componirenden Bewegungen (jede für sich und unabhängig von der andern betrachtet) zurücklegen würde .... (h). Es folgt natürlich daraus, daß der materielle Punkt sich in der Zeit t am Ende der Diagonale befindet, noch keineswegs, daß er in dieser Zeit die Diagonale selbst durchlaufe. Es gilt aber der Satz (h), die Kräfte p und p_1 mögen wie immer beschaffen, sie mögen beide momentane, beide constante, oder beide veränderliche, d. h. gleichartig oder aber beide ungleichartig sein.

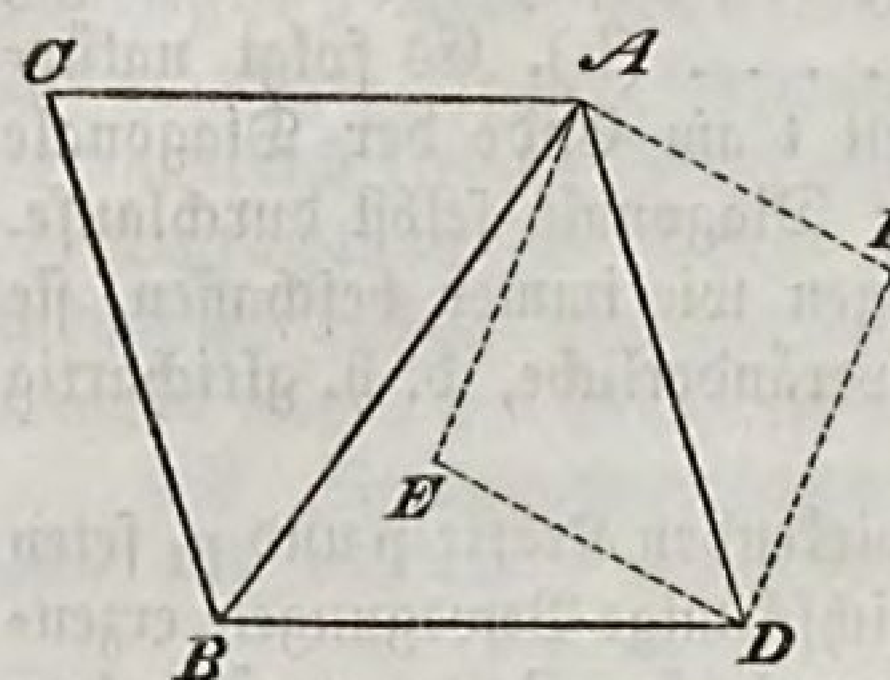
Angenommen, die gleichzeitig auf M (Fig. 31) wirkenden Kräfte p und p_1 seien momentane Kräfte. Da diese (nach **48**) immer gleichförmige Bewegungen erzeugen, so daß die von einem und demselben Beweglichen in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege den bewegenden Kräften proportional sind [(24) S. 63]; so ist MA : Ma $= p : p_1$ und ebenso MN : Mn $= p : p_1$, daher MA : Ma = MN : Mn und wegen MA = ad und MN = nR, auch ad : Ma = nR : Mn oder ad : nR = Ma : Mn. Da ferner wegen des Parallelismus von ad und nR die Winkel Mad und MnR gleich sind, so sind die Dreiecke Mad und MnR ähnlich, somit auch die Winkel aMd und nMR gleich. Die Punkte M, d und R müssen daher in einer und derselben geraden Linie liegen. Da in Rücksicht auf die Lage der Punkte e, f, so wie jedes andern Punktes der resultirenden Bahn gegen die Punkte M und R sich genau auf die nämliche Art dasselbe nachweisen, d. i. zeigen läßt, daß diese Punkte alle mit R und M in einer und derselben geraden Linie liegen müssen; so steht mit Bezug auf das Vorhergehende der Satz fest: Der Weg, den ein materieller Punkt in einer Zeit t zu Folge einer Bewegung zurücklegt, welche aus der Zusammensetzung zweier geradliniger und gleichförmiger Bewegungen resultirt, ist der Richtung und Größe nach der Diagonale des Parallelogramms gleich, welches mit den (durch gerade Linien repräsentirten) Wegen construirt werden kann, die der Punkt in der nämlichen Zeit t zu Folge der einzelnen componirenden Bewegungen (jede für sich und unabhängig von der andern betrachtet) vom gemeinschaftlichen Ausgangspunkte dieser Bewegungen an zurücklegen würde . . (i).

Denkt man sich unter den auf den materiellen Punkt M gleichzeitig einwirkenden Kräften p und p_1 constante Kräfte, welche (**50**) gleichförmig be-

schleunigte Bewegungen erzeugen, so kann man, da auch für sie der Satz gilt, daß die in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege den bewegenden Kräften direkt proportional sind [(32) S. 66], auf die durch sie erzeugten Bewegungen genau dieselbe Reihe von Schlüssen anwenden, wie dies eben vorher bei momentanen Kräften geschah, und gelangt so zu dem Resultat, daß der oben für geradlinige und gleichförmige componirende Bewegungen ausgesprochene Satz (i) auch volle Geltung habe, wenn die zwei componirenden Bewegungen geradlinige und gleichförmig beschleunigte sind. Es ist somit, was die Zusammensetzung geradliniger Bewegungen anbelangt, Folgendes als ausgemacht zu betrachten: Der Weg, den ein materieller Punkt in irgend einer Zeit t zu Folge einer Bewegung zurücklegt, welche aus der Zusammensetzung zweier geradliniger und gleichförmiger oder gleichförmig beschleunigter Bewegungen resultirt, ist der Richtung und Größe nach der Diagonale des Parallelogramms gleich, welches mit den (durch gerade Linien dargestellten) Wegen construirt werden kann, die der materielle Punkt in der nämlichen Zeit t zu Folge der einzelnen componirenden Bewegungen (jede für sich und unabhängig von der andern betrachtet) vom gemeinschaftlichen Ausgangspunkte an zurücklegen würde . . . . (33)

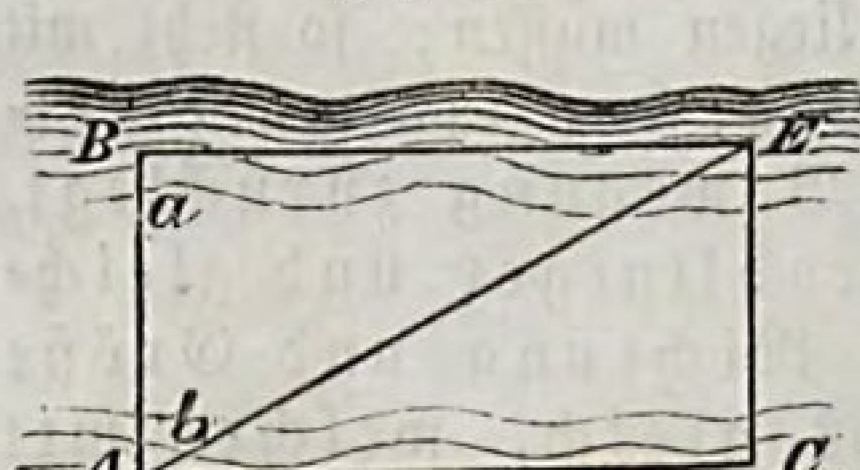
Wirken auf ein Bewegliches in A (Fig. 32) gleichzeitig drei momentane oder drei constante Kräfte p_1, p_2, p_3 ein, und es stellen die Linien AC, AE, AF die Wege vor, durch welche dasselbe in gleichen Zeiten von diesen Kräften bewegt würde, wenn jede nur allein wirksam wäre, so findet man die Resultirende aller dieser Bewegungen, indem man zuerst die Resultirende von zwei derselben z. B. von AF und AE nach (33) aufsucht und diese Resultirende AD dann mit der dritten Bewegung AC zusammengesetzt, wodurch AB als Resultirende aller drei Bewegungen (AC, AE und AF) erhalten wird. Daß sich diese Zusammensetzung in gleicher Weise auf beliebig viele componirende Bewegungen ausdehnen lasse, und wie dies geschehe, leuchtet nun von selbst ein. Eben so ist es klar, daß durch das umgekehrte Verfahren jede geradlinige gleichförmige oder gleichförmig beschleunigte Bewegung in zwei oder mehrere andere Bewegungen derselben Art zerlegt werden könne.

Fig. 32.



Ein Beispiel einer zusammengesetzten Bewegung gibt ein Schiff, welches durch eine Kraft, z. B. die des Windes, quer über einen Fluß hinübergetrieben und gleichzeitig vom Wasser stromabwärts getragen wird. Gesetzt, der Wind allein würde das Schiff, wenn das Wasser des Flusses still stände, in 15 Minuten geradlinig von A nach B (Fig. 33) bewegen, der Strom allein aber würde es, wenn kein Winde ginge, in der nämlichen Zeit in gerader Richtung von A bis C tragen, so kann das Schiff nach 15 Minuten weder in B noch in C sein, sondern muß sich am Endpunkte E der Diagonale AE des Parallelogramms ABEC befinden. Sind die Bewegungen AB und AC gleichförmige oder gleichförmig beschleunigte (letzteres wird im vorliegenden Falle jedoch nie der Fall sein), so nimmt das Schiff überdies den geradlinigen Weg AE. — Daß die numerische Bestimmung der Resultirenden AE, wenn die componirenden Bewegungen AB und AC und der Winkel BAC, welchen diese bilden, bekannt sind, auf die Auflösung eines Dreieckes hinausgehe, ist leicht einzusehen. Da BE = AC und der Winkel ABE = 180 — BAC ist, so sind in dem Dreiecke ABE zwei Seiten (AB und BE) und der von ihnen eingeschlossene Winkel (ABE) bekannt, und es läßt sich somit die Größe der Linie AE und der Winkel EAB, den sie mit AB bildet (Größen, durch welche die resultirende Bewegung der Richtung und Größe nach bestimmt wird) leicht berechnen. Bezeichnet man nämlich die componirenden Bewegungen (AB und BE) der Größe nach mit B und B_1, die

Fig. 33.

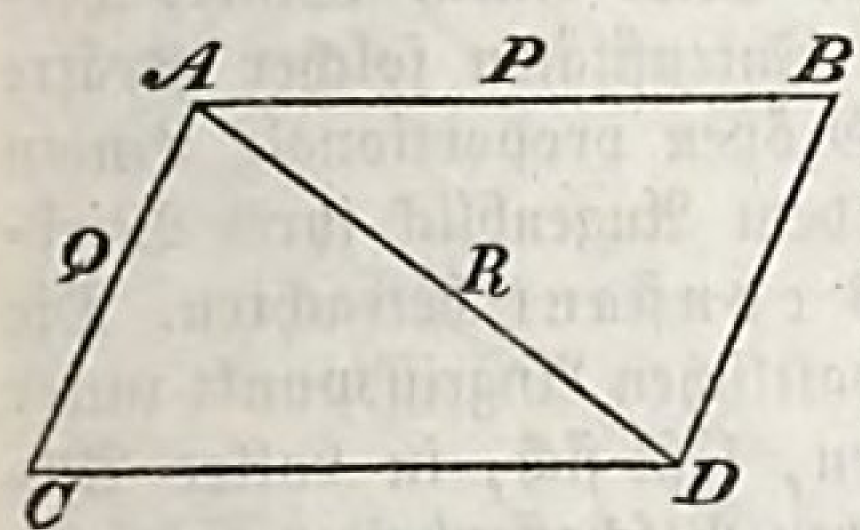


Größe der zusammengesetzten Bewegung (AE) mit Z, den von ersteren eingeschlossenen Winkel (ABE) mit a und den Winkel (EAB), den die zusammengesetzte Bewegung mit der componirenden Bewegung B bildet, mit b, so ist

$$Z = \sqrt{(B^2 + B_1^2 - 2BB_1 \cos.a)} \text{ und } \sin.b = \frac{B_1 \sin. a}{Z.} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (34)$$

54. Zusammensetzung der Kräfte. So wichtig die eben betrachtete Zusammensetzung und Zerlegung der Bewegungen an und für sich ist, so ergibt sich aus ihr auch noch überdies die in der praktischen Mechanik eine Hauptrolle spielende Wahrheit, daß auch Kräfte zusammengesetzt und zerlegt werden können. Seien **P** und **Q** (Fig. 34) zwei gleichartige (z. B. zwei constante) Kräfte und **AB**,

Fig. 34.



AC die geradlinigen Bewegungen, die sie einem in **A** befindlichen Punkt in der nämlichen Zeit **t** ertheilen würden, wenn jede für sich allein wirkte, so wird das Bewegliche in dieser Zeit **t** die Diagonale **AD** des Parallelogramms **ABCD** durchlaufen müssen. Offenbar läßt sich das nämliche Resultat, d. i. die Bewegung durch die Diagonale **AD**, auch mit einer einzigen constanten Kraft erzielen, welche in der Richtung von **A** nach **D** wirkt und eine bestimmte Größe (Intensität) hat, die vorläufig mit **R** bezeichnet werden soll. Nach Satz (32) S. 66, nämlich: daß die Intensitäten constanter Kräfte sich verhalten wie die Wege, welche ein und dasselbe Bewegliche unter der Einwirkung jeder einzelnen dieser Kräfte in gleichen Zeiten zurücklegt, ist **P** : **Q** = **AB** : **AC**. Wollte man daher die constanten Kräfte **P**, **Q** durch Linien ausdrücken (wie man dies zu Folge **47** thun kann), so müßten sich diese wie **AB**:**AC** verhalten, und es können somit die Linien **AB** und **AC** selbst die Intensitäten oder Größen der Kräfte **P** und **Q** vorstellen. Die constante Kraft **R**, welche nun allein die Wirkung hervorbringen soll, wie die beiden Kräfte **P** und **Q** zusammen, müßte daher die Richtung der Diagonale eines Parallelogramms haben, in welchem sich die Seiten wie die Kräfte (**P** und **Q**) verhalten. Man nennt ein solches Parallelogramm ein Kräftenparallelogramm. — Nach demselben vorhin citirten Satz (32) S. 66 folgt ferner **R**:**P**:**Q** = **AD**:**AB**:**AC**; es muß somit, wenn die Intensitäten der Kräfte **P** und **Q**, wie angenommen wurde, durch die Linien **AB** und **AC** vorgestellt (**P** = **AB** und **Q** = **AC** gesetzt) werden, die Intensität der Kraft **R** durch die Linie **AD** vorgestellt (**R** = **AD** gesetzt) werden. Es können demnach zwei unter einem Winkel auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt wirkende constante Kräfte durch eine einzige solche Kraft ersetzt werden, deren Richtung und Größe man findet, wenn mit den, die gegebenen zwei Kräfte vorstellenden Linien ein Parallelogramm (das Kräftenparallelogramm) ergänzt und in diesem vom Angriffspunkte der Kräfte aus die Diagonale gezogen wird. Diese stellt dann die Richtung und Größe derjenigen Kraft vor, welche für sich allein die nämliche Wirkung hervorbringt, wie die beiden andern Kräfte zusammen. Man nennt eine solche an Wirkung zwei oder auch mehreren anderen Kräften gleichkommende Kraft die Resultirende dieser Kräfte; die Resultirende mehrerer Kräfte suchen, heißt diese Kräfte zusammensetzen, und diese letzteren werden Componenten oder Composanten genannt. Die Resultirende nennt man auch oft Mittelkraft und die Componenten Seitenkräfte.

55. Resultirende unter Winkeln auf einen Punkt wirkender Kräfte. Sind die beiden Seitenkräfte **P** und **Q** Momentankräfte, so läßt sich, wenn man anstatt des Satzes (32) S. 66, den Satz (24) S. 63 (nämlich daß die Intensitäten der Momentankräfte sich wie die Wege verhalten, welche sie ein und dasselbe Bewegliche in gleichen Zeiten durchlaufen machen) zu Hilfe nimmt, Schritt für Schritt genau dieselbe Schlußweise, wie es so eben für con=

stante Kräfte geschehen, wiederholen, und man gelangt zu dem Resultate, daß auch in dem Falle, wo die zwei auf den gemeinschaftlichen Angriffspunkt unter einem Winkel einwirkenden Kräfte Momentankräfte sind, die Diagonale des Kräfteparallelogramms der Richtung und Größe nach die Resultirende der zwei Seitenkräfte darstelle, so daß der Satz: Die Resultirende zweier auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt unter einem Winkel wirkender gleichartiger*) Kräfte ist der Richtung und Größe nach durch die Diagonale des Kräftenparallelogramms gegeben feststeht, sowohl wenn die beiden Seitenkräfte momentane, als wenn sie beide continuirliche, aber constante Kräfte sind. . . . . (35)

Es können aber endlich die zwei auf einen Punkt unter einem Winkel wirkenden Kräfte veränderliche Kräfte sein. Um die Intensitäten solcher Kräfte schätzen oder vergleichen, um sie also durch ihren Größen proportionale Linien ausdrücken zu können, muß man sie (nach **52**) in jedem Augenblick ihrer Wirksamkeit ein unendlich kleines Zeittheilchen hindurch als constant betrachten. Die Aufgabe, die Resultirende zweier auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt unter einem Winkel wirkender veränderlicher Kräfte zu finden, läßt sich, in voller Allgemeinheit d. h. für veränderliche Kräfte jeder denkbaren Beschaffenheit aufgefaßt, daher immer nur für einen Augenblick der Wirksamkeit dieser Kräfte lösen, und fällt, da dann die veränderlichen Kräfte als constant anzusehen sind, mit der in **54** behandelten Aufgabe zusammen.

Wirken auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt nach verschiedenen Richtungen mehr als zwei gleichartige Kräfte, z. B. die Kräfte p_1, p_2, p_3 . . . p_n, so wird die Resultirende aller dieser Kräfte gefunden, indem man zuerst die Resultirende zweier dieser Kräfte sucht, diese Resultirende mit einer dritten Kraft zusammensetzt, die hiedurch erhaltene neue Resultirende wieder mit einer vierten Kraft verbindet und so fortfährt, bis endlich alle componirenden Kräfte an die Reihe gekommen sind. . . (k)

56. Zerlegung der Kräfte. Da dem Vorhergehenden zu Folge in jedem Parallelogramme, in welchem zwei einen Winkel einschließende Seiten die Richtungen und Größen zweier gleichartiger Kräfte vorstellen, die von der Spitze des eingeschlossenen Winkels aus gezogene Diagonale die Richtung und Größe der Resultirenden der besagten zwei Kräfte vorstellt, so folgt, daß, wenn man irgend einer Kraft zwei andere, mit ihr gleichartige, unter einem bestimmten Winkel a wirkende Kräfte substituiren, d. h. sie in zwei unter bestimmten Winkel a wirkende Seitenkräfte zerlegen wollte, man die Richtung und Größe dieser Seitenkräfte (Componenten) findet, indem man die zu zerlegende Kraft durch eine gerade Linie darstellt, und diese zur Diagonale eines Parallelogramms macht, in welchem jeder der Winkel an den Endpunkten der Diagonale dem Winkel a gleich ist. Je zwei den Winkel a einschließende Seiten dieses Parallelogramms stellen dann die Richtungen und Größen der Componenten vor, natürlich vorausgesetzt, daß Diagonale und Seiten des Parallelogramms mit der nämlichen Längeneinheit gemessen gedacht werden. Wird der Winkel a unbestimmt gelassen, d. h. handelt es sich nur um die Zerlegung irgend einer Kraft in zwei andere unter was immer für einem Winkel wirkende gleichartige Kräfte, so ist diese Zerlegung auf unendlich viele Arten möglich: denn man kann die zu zerlegende Kraft, durch eine gerade Linie dargestellt, zur Diagonale unendlich vieler Parallelogramme machen, und in

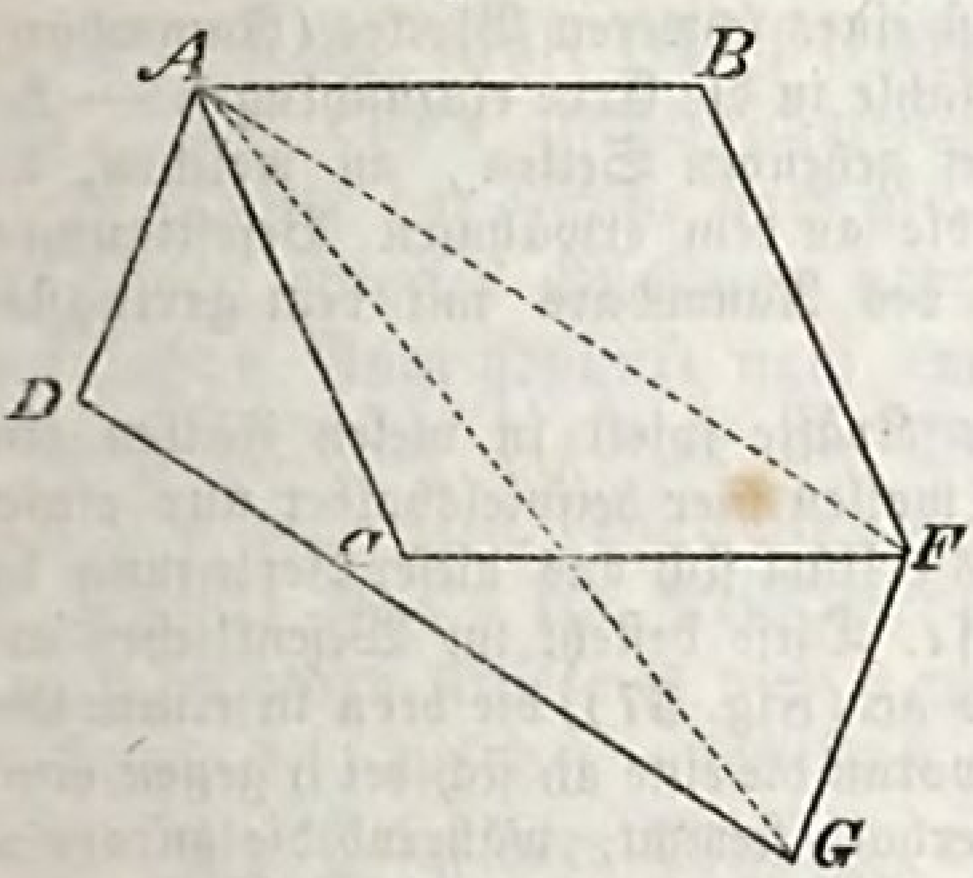
---

*) Die Aufgabe, eine Kraft zu suchen, welche allein die nämliche Wirkung erzeugt, wie zwei und mehrere andere Kräfte zusammengenommen, hat in der That nur dann einen praktischem Sinn, wenn die zusammengesetzten Kräfte gleichartig sind.

jedem solchen Parallelogramme stellen dann die zwei einen Winkel einschließende Seiten die Componenten der durch die Diagonale repräsentirten Kraft vor.

Durch ein mit dem unter (k) angegebenen umgekehrtes Verfahren läßt sich jede Kraft in eine beliebige Anzahl gleichartiger, unter Winkeln (nach verschiedenen Richtungen) auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt wirkender Kräfte zerlegen. Macht man nämlich diese Kraft, durch eine gerade Linie z. B. **AG** (Fig. 35) dargestellt, zur Diagonale eines Parallelogramms **ADGF**, so hat man sie in die zwei Kräfte **AF** und **AD** zerlegt. Construirt man nun über **AF** als Diagonale wieder ein anderes Parallelogramm **ABFC**, so hat man anstatt der ursprünglichen Kraft **AG** schon die drei ihr an Wirkung gleichkommenden Kräfte **AD, AC, AB**; verfährt man nun mit jeder der durch Zerlegung erhaltenen Kräfte immer wieder auf dieselbe Weise, so erhält man anstatt der Kraft **AG** nach und nach jede beliebige Anzahl Kräfte, die vereint die nämliche Wirkung hervorbringen, wie die Kraft **AG** für sich allein.

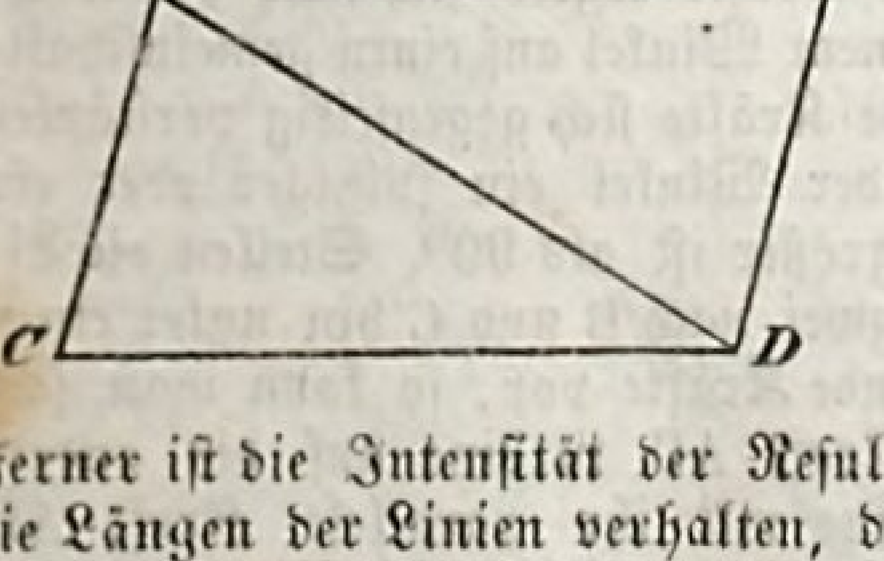
Fig. 35.



Da in jedem Parallelogramm die gegenüberstehenden Seiten gleich sind und die zwei einer und derselben Seite anliegenden Winkel einander zu 180° ergänzen, so ist, um eine Kraft (z. B. **AF** in Fig. 35) in zwei andere unter einem bestimmten Winkel **a** wirkende Kräfte zu zerlegen, nicht die Construction eines Parallelogramms, sondern nur eines Dreiecks (**ACF**) über der Linie **AF**, welche die zu zerlegende Kraft darstellt, nöthig, in welchem der der betreffenden Linie (**AF**) gegenüberliegende Winkel der Ergänzung des Winkels **a** zu 180° gleich ist. Dann sind **AC** und **CF** die Composanten, welche, unter dem Winkel **a** wirkend, die Resultirende **AF** ersetzen können. Wird der Winkel **a** unbestimmt gelassen, so stellen je zwei Linien, welche mit der, die zu zerlegende Kraft darstellenden Linie ein geradliniges Dreieck bilden, Componenten dieser Kraft vor. Daß bei Zusammensetzung oder Zerlegung der Kräfte die numerische Bestimmung der Richtung und Größe der Resultirenden oder der Componenten ganz so wie bei der Zusammensetzung und Zerlegung von Bewegungen (zu Ende der S. 68) auf die Auflösung geradliniger Dreiecke hinausgehe, ist für sich klar.

Folgerungen und Beispiele, die betrachtete Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte betreffend. Stellen in Fig. 36 die Linien AB und AC oder (wegen AC = BD) AB und BD die Intensitäten zweier gleichartiger, auf einen und denselben Punkt A wirkender Kräfte P, Q vor, so repräsentirt AD ihre Resultirende R. Sind die beiden Seitenkräfte gleich, also AB = BD, so ist < BAD = < BDA, und da auch die Winkel BDA und DAC (als Wechselwinkel) = sind, so folgt < BAD = < DAC, d. h. die Resultirende von zwei gleich großen, auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt wirkenden Kräften halbirt den Winkel, den die Richtungen der beiden Kräfte einschließen . . (1)

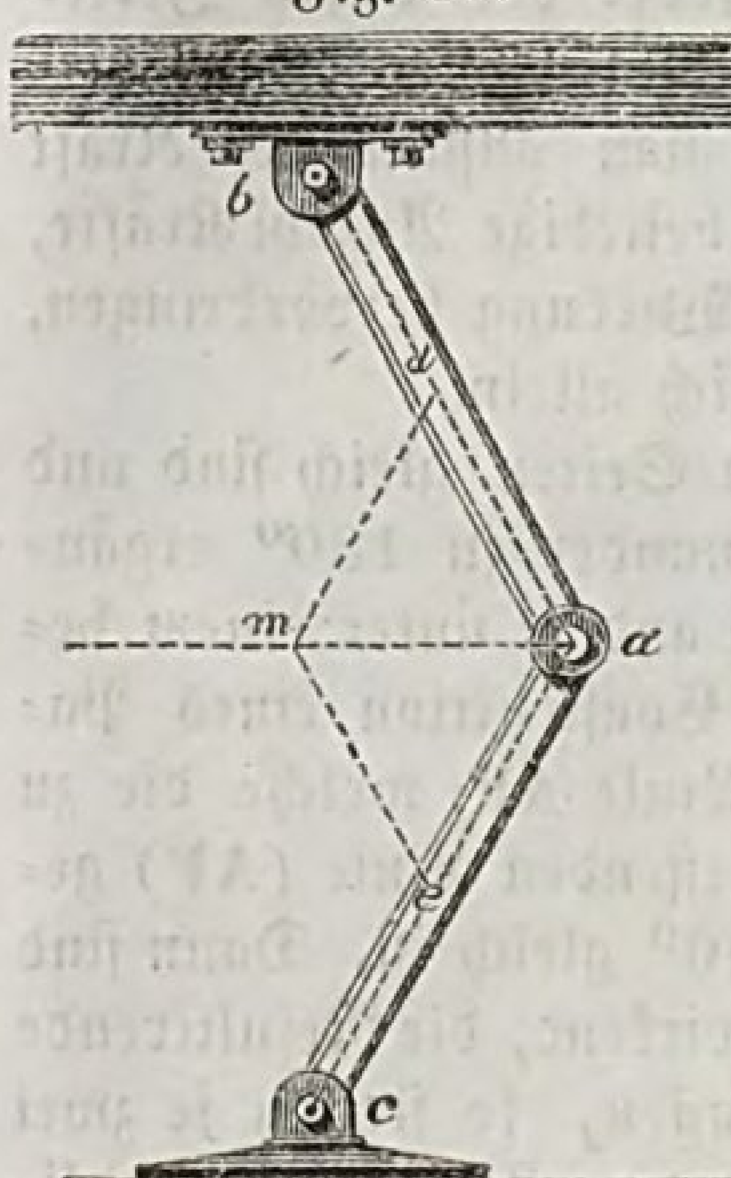
Fig. 36.



Ferner ist die Intensität der Resultirenden R = AD, da die Intensitäten der Kräfte sich wie die Längen der Linien verhalten, durch welche sie vorgestellt werden, offenbar immer kleiner, als die Summe der Intensitäten der Kräfte AB und BD; denn in jedem Dreiecke ist eine Seite kleiner, als die Summe der beiden andern. Es ist also AD < AB + BD. Die Linie AD (die Resultirende R) ist aber desto kleiner als AB + BD d. i. als die Summe der Componenten P und Q, je kleiner der Winkel ABD, und je größer daher der Winkel CAB ist, d. h. die Resultirende zweier bestimmter, unter einem Winkel auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt wirkender Kräfte fällt desto kleiner aus, oder (mit andern Worten) zwei unter einem Winkel wirkende, bestimmte Kräfte leisten desto weniger, je größer der Winkel ist, den ihre Richtungen am gemeinschaftlichen Angriffspunkte einschließen, und umgekehrt müssen sie desto mehr leisten, je kleiner

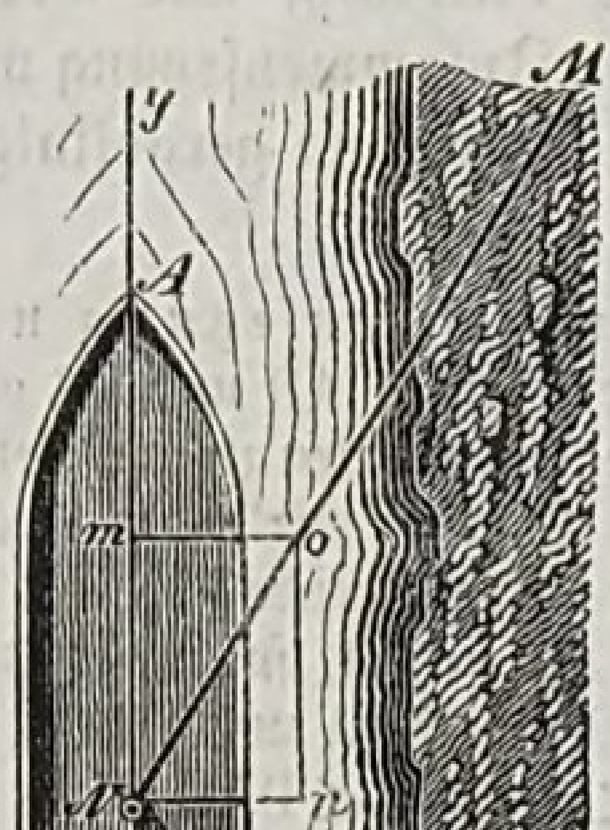
dieser Winkel ist. (Deswegen werden zwei Pferde mit einem und demselben Kraftaufwande eine desto größere Last oder dieselbe Last mit desto geringerem Kraftaufwande fortbewegen können, je kleiner der Winkel ist, den die zwei Stricke, woran die Pferde ziehen, an dem gemeinschaftlichen Befestigungspunkte (an der Last) einschließen. — Was hier von zwei Kräften und ihrer Resultirenden gezeigt worden, gilt natürlich auch von beliebig vielen auf einen und denselben Punkt unter Winkeln zusammenwirkenden Kräften (indem sich diese durch Zusammensetzung auf zwei reduciren lassen). Je kleiner die Winkel sind, welche die Richtungen dieser Kräfte am gemeinschaftlichen Angriffspunkte bilden, d. h. je mehr diese Richtungen sich dem Parallelismus nähern, desto mehr werden diese Kräfte leisten. Man gibt daher an der sogenannten Rammmaschine, — deren man sich bedient, um mittelst eines schweren Blockes (Rammbär), der in die Höhe gehoben und dann fallen gelassen wird, Pfähle in die Erde einzuschlagen — den von einem gemeinschaftlichen Befestigungspunkte aus schief gehenden Seilen, an welchen, um den Rammbär zu heben, Menschen ziehen, Richtungen, die an dem erwähnten Befestigungspunkte möglichst kleine Winkel bilden, um das Heben des Rammbärs mit dem geringsten Kraftaufwande zu bewerkstelligen.

Fig. 37.



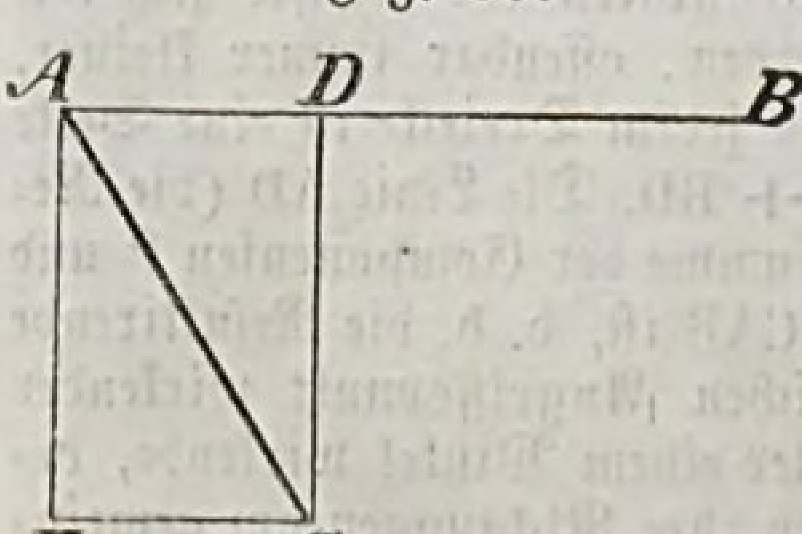
Die Zerlegung der Kräfte spielt in vielen Fällen eine sehr wichtige Rolle. Wir wollen hier beispielshalber nur einige solche Fälle anführen. Es erklärt sich aus dieser Zerlegung die Wirkung der Kniepresse. Diese besteht im Wesentlichen aus zwei Metallstangen ab und ac (Fig. 37), die bei a in einem Gelenke vereinigt sind, und woran die eine ab sich bei b gegen einen festen unbeweglichen Widerhalt stemmt, während die andere ac mit ihrem Ende c (z. B. mittelst einer an diesem Ende angebrachten Platte, wie die Fig. 37 zeigt), auf einen zusammenzupressenden Körper wirkt. Wirkt auf den Punkt a eine Kraft p in der Richtung von a nach m hin und von der Größe am, so wird diese in zwei Kräfte zerlegt, wovon die eine ad von a nach b und die andere ae von a nach c hin wirkt und die im Verhältniß zur Resultirenden p = am immer größer werden, je stumpfer beim allmäligen Nachgeben des zusammenzupressenden Körpers der Winkel bac wird. Man wendet dieses Princip bei Buchdruckerpressen, Prägwerken u. dgl. und überhaupt in allen Fällen mit großem Nutzen an, wo es sich um ein continuirlich gleichmäßiges Anwachsen der Preßkraft handelt.

Fig. 38.



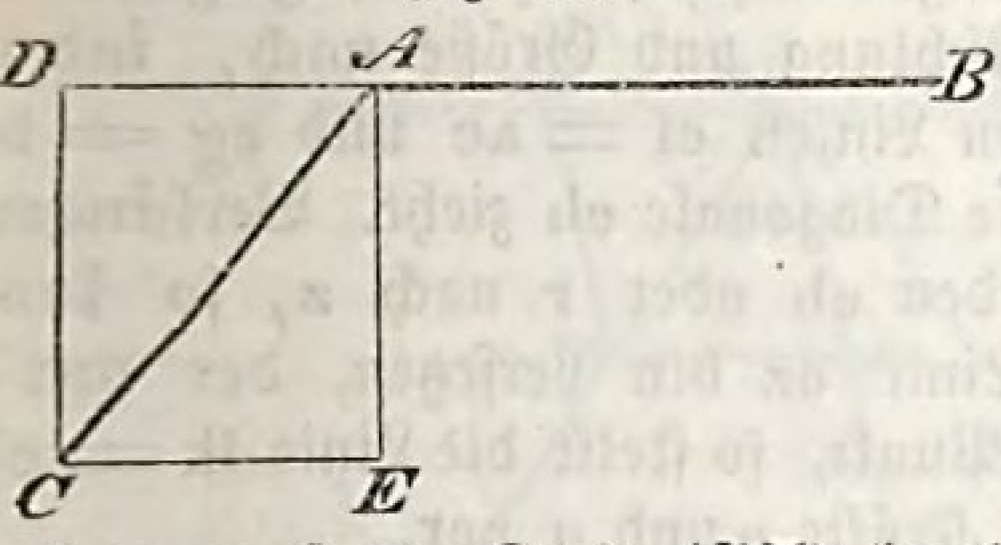
Die Zerlegung der Kräfte setzt uns in die Lage, die Kraft zu beurtheilen, womit ein Schiff A (Fig. 38) sich in der Richtung xy stromaufwärts bewegt, wenn es (z. B. von Pferden) in einer gegen das Ufer CM schiefen Richtung NM mit der Kraft P gezogen wird. Stellt die Linie No die Größe der Kraft P vor, und man zerlegt sie in zwei auf einander senkrechte Kräfte Nn und Nm, so geht die Kraft Nn durch den Widerstand der zwischen dem Ufer und den Seiten des Schiffes eingeschlossenen Wassermasse verloren, und es bleibt nur die Kraft Nm übrig, welche das Schiff in einer zum Ufer parallelen Richtung gegen den Strom treibt.

Fig. 39.



Aus der Zerlegung der Kräfte ergibt sich auch der wichtige Satz, daß zwei unter einem Winkel auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt wirkende Kräfte sich gegenseitig verstärken oder schwächen, je nachdem der Winkel ein spitziger oder ein stumpfer, d. h. kleiner oder größer ist als 90°. Stellen die Linien AB und AC (Fig. 39) zwei nach B und C hin unter einen spitzigen Winkel auf A wirkende Kräfte vor, so kann man jede dieser Kräfte, z. B. die Kraft AC in eine auf die andere (AB) senkrechte AE und eine mit ihr parallele Kraft AD zerlegen. AD wirkt dann mit AB nach einerlei Richtung und verstärkt sie. Schließen die beiden gegebenen Kräfte AB und AC aber einen stumpfen Winkel ein, wie in Fig. 40, und man zerlegt die Kraft AC in die auf AB senkrechte AE und die mit AB parallele AD, so wirkt die Componente AD der Kraft AB geradezu entgegen und muß daher ihre Wirkung schwächen. Daß, wenn die zwei Kräfte AB und AC weder unter einem spitzigen, noch unter einem stumpfen, sondern unter

Fig. 40.



einem rechten Winkel auf den nämlichen Punkt wirken, sie sich weder verstärken, noch schwächen können, folgt nun von selbst. . . . . . . (36)

57. Resultirende mehrerer, nach einerlei oder nach entgegengesetzten Richtungen auf einen gemeinschaftlichen Punkt wirkender Kräfte. Schon aus der Art des Entstehens einer doppelten, dreifachen u. s. w. Kraft (**47**) leuchtet ein, daß die Resultirende zweier oder mehrerer, auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt in derselben Richtung wirkender Kräfte der Größe nach gleich der Summe der sämmtlichen Kräfte sein und mit diesen einerlei Richtung haben müsse. Wirken zwei Kräfte auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt nach entgegensetzten Richtungen, und sind gleich groß, so muß offenbar die eine die Wirkung der andern aufheben; ihre Resultirende muß also $= 0$ sein. Sind die zwei Kräfte P, Q aber ungleich groß, so kann man die größere P als die Resultirende zweier auf denselben Punkt nach einerlei Richtung wirkender Kräfte Q und p ansehen, also $P = Q + p$ . . (m) setzen. Es heben sich dann die auf den nämlichen Angriffspunkt entgegengesetzt wirkenden gleichen Kräfte Q, Q in ihrer Wirkung auf, und es ist p die Resultirende von Q und P. Diese Resultirende hat demnach die Richtung der größeren Kraft (P), und ist, da aus (m) $p = P - Q$ folgt, der Größe nach dem Unterschiede der beiden ursprünglichen Kräfte gleich.

Wirken auf einen und denselben Punkt mehrere Kräfte P_1, P_2, P_3 . . . nach einer, und mehrere andere Kräfte Q_1, Q_2, Q_3 . . . nach der entgegengesetzten Richtung, so ist, dem Vorhergehenden zu Folge, ihre Resultirende

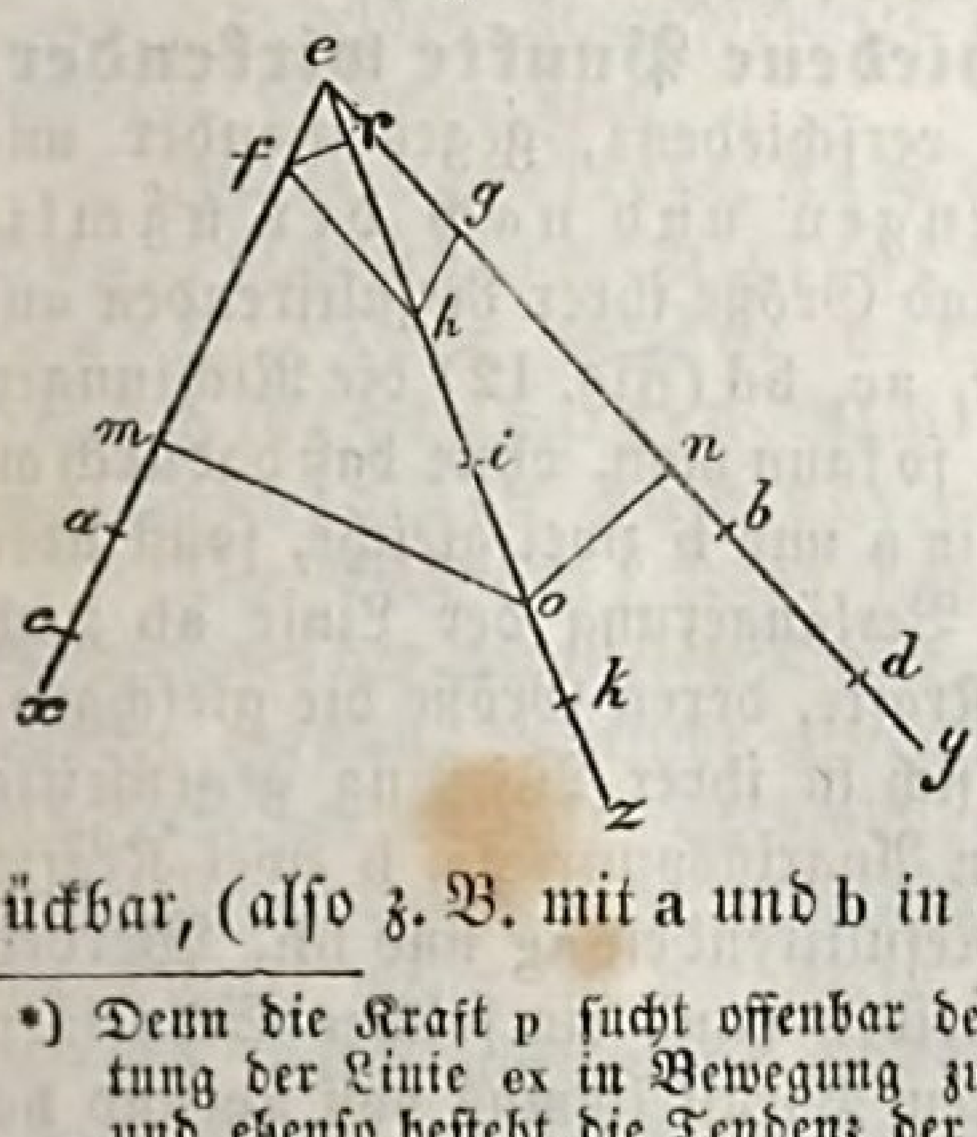
$$R = (P_1 + P_2 + P_3 + \ldots) - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots)$$

$$\text{oder} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots) - (P_1 + P_2 + P_3 + \ldots)$$

je nachdem die eine oder die andere Summe der nach einerlei Seite wirkenden Kräfte die größere ist.

58. Resultirende zweier auf verschiedene Punkte nach nicht parallelen Richtungen wirkender Kräfte. Wirken zwei Kräfte auf zwei verschiedene Angriffspunkte, so lassen sie sich nur dann durch eine einzige Kraft (Resultirende) ersetzen, wenn die Angriffspunkte eine unveränderliche Lage gegen einander haben (z. B. Punkte eines und desselben festen Körpers sind) und wenn die Richtungen der zwei Kräfte in derselben Ebene liegen. Wirken nun unter diesen Voraussetzungen die Kräfte p und q auf die Punkte a und b (Fig. 41) und zwar nach den unter einander nicht parallelen Richtungen ax und by, stellen ferner die Linien ac und bd die Kräfte p und q der Größe nach vor, so verlängere man die Linien ax und by, bis sie in einem Punkte e zusammentreffen (welches Zusammentreffen der Voraussetzung zu Folge, daß ax und by in der nämlichen Ebene liegen und nicht parallel sind, eintreten muß), und versetze die Angriffspunkte a und b nach e. Hiedurch wird in der Wirkung der Kräfte p und q nichts geändert, vorausgesetzt, daß man sich den Punkt e gegen die Punkte a und b unverrückbar, (also z. B. mit a und b in einem und demselben festen Körper gelegen denkt*).

Fig. 41.



*) Denn die Kraft p sucht offenbar den besagten festen Körper auf gleiche Weise nach der Richtung der Linie ex in Bewegung zu setzen, ob sie den Punkt a oder e zum Angriffspunkt hat, und ebenso besteht die Tendenz der Kraft q immer darin, den festen Körper nach der Richtung ey zu bewegen, ob sie auf den Punkt b oder e wirkt.

Man hat jetzt die zwei Kräfte p und q auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt e wirkend, und findet ihre Resultirende r der Richtung und Größe nach, indem man mit den, die Kräfte p und q repräsentirenden Linien ef = ac und eg = bd das Kräftenparallelogramm fegh construirt und die Diagonale eh zieht. Verlängert man die Richtung der so erhaltenen Resultirenden eh oder r nach z, so kann man ihren Angriffspunkt nach jeden Punkt der Linie ez hin versetzen, der mit e unveränderlich verbunden ist. Wäre i ein solcher Punkt, so stellt die Linie ik = eh die Richtung und Größe der Resultirenden r der Kräfte p und q vor.

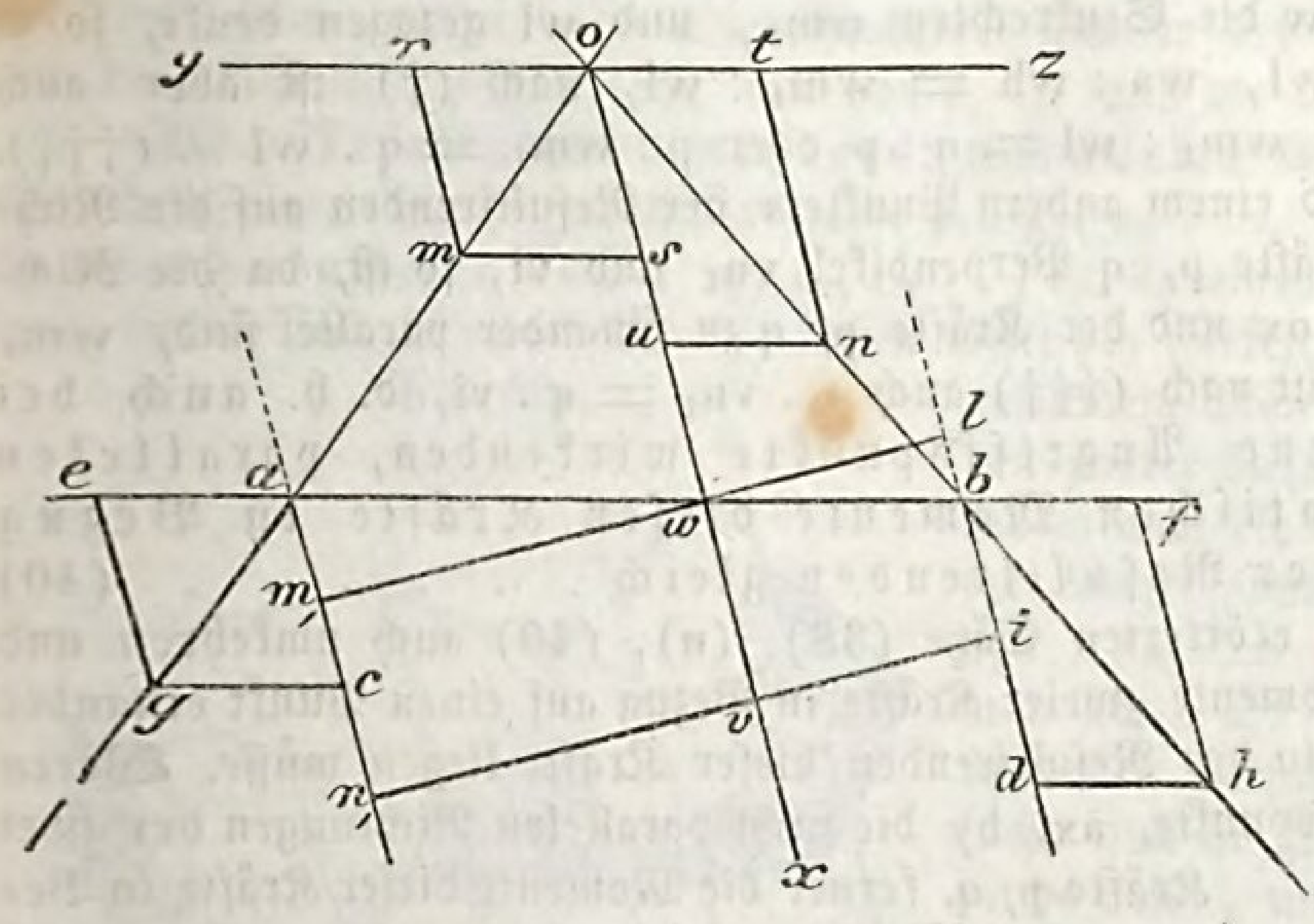
Fällt man aus irgend einem Punkte o der die Richtung der Resultirenden anzeigenden Geraden ez auf die Geraden ex und ey Lothe om und on und zieht ferner von f die auf eh Senkrechte fr, so ist das Dreieck efr dem Dreiecke emo und das Dreieck hfr dem Dreiecke eon ähnlich (denn in den ersteren zwei Dreiecken sind die Winkel erf und ome als rechte Winkel gleich und der Winkel fer ist gemeinschaftlich; in den letzteren zwei Dreiecken aber sind die Winkel frh und one als rechte und die Winkel fhr und heg als Wechselwinkel gleich), somit ist fe : fr = eo : om und eben so fh : fr = eo : on. Hieraus folgt durch Verschmelzung beider Proportionen in eine einzige fe : fh = on : om, und da fe = p, fh = eg = q ist, endlich p : q = on : om, d. h. die Richtung der Resultirenden zweier auf verschiedene Angriffspunkte wirkender, nicht paralleler Kräfte ist so beschaffen, daß die Senkrechten, die aus was immer für einem Punkte der Resultirenden auf die Richtungen der Kräfte gefällt werden, sich verkehrt verhalten wie diese Kräfte . . . . (37)

Aus der Proportion p : q = on : om folgt endlich p . om = q . on. Man nennt das Produkt einer Kraft in die von irgend einem Punkte auf ihre Richtung gezogene Senkrechte das statische Moment dieser Kraft in Bezug auf diesen Punkt, und dieser Punkt selbst heißt der Mittelpunkt des Momentes. Mithin ist p . om das statische Moment der Kraft p und q . on jenes der Kraft q in Beziehung auf den Punkt o. Der letzten Gleichung gemäß sind also die statischen Momente zweier auf verschiedene Angriffspunkte wirkender, nicht paralleler Kräfte in Beziehung auf jeden in der Richtung ihrer Resultirenden gelegenen Punkt gleich (38)

Da ferner die Linie ez die Richtung der Resultirenden sowohl von den zwei auf die verschiedenen Punkte a, b wirkenden, als auch von den in den gemeinschaftlichen Angriffspunkt e hin versetzten Kräften p, q vorstellt; so gilt natürlich der eben ausgesprochene Satz (38) auch in dem Falle, wo zwei unter einem Winkel wirkende Kräfte einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt haben . . (n).

59. Resultirende zweier auf verschiedene Punkte wirkender, paralleler Kräfte. Wirken zwei Kräfte auf verschiedene, gegeneinander unverrückbare Punkte nach parallelen Richtungen und nach der nämlichen Seite hin, so findet man die Richtung und Größe ihrer Resultirenden auf folgendem Wege. Seien p, q die parallelen Kräfte, ac, bd (Fig. 42) die Richtungen und Größen, und a, b die Angriffspunkte derselben, so kann man, ohne daß dadurch an der Wirkung der Kräfte p, q etwas geändert wird, in a und b zwei gleiche, sonst aber beliebig große Kräfte anbringen, welche in der Verlängerung der Linie ab nach entgegengesetzten Richtungen wirken: denn diese Kräfte, deren Größe die gleichgroßen Linien ae und bf vorstellen mögen, heben sich in ihrer Wirkung gegenseitig auf. Nun wirken aber auf jeden der ursprünglichen Angriffspunkte a, b zwei Kräfte unter einem Winkel, und es entstehen daher die Resultirenden ag und bh. Werden diese verlängert, bis sie sich in einem Punkte schneiden (und ein solches Schneiden muß einmal eintreten, da wegen des vorausgesetzten Parallelismus von ac und bd die Linien ag und bh einander nicht parallel sein können), so lassen sich nach dem

Fig. 42.



Durchschnittspunkt o, vorausgesetzt, daß man sich denselben mit den Angriffspunkten a, b unveränderlich verbunden denkt, die Resultirenden ag und bh hin versetzen, so daß dann die Linien om (= ag) und on (= bh) diese Resultirenden vorstellen. Man ziehe jetzt durch o die zu den Richtungen der Kräfte p, q und zur Linie ef Parallelen ox und yz, und zerlege die Resultirenden om und on, — indem man von m und n aus die zu ox und yz parallelen Linien mr, ms und nu, nt zieht, — in die Componenten or, os und ot, ou. Da die Dreiecke rom und aeg congruent sind (denn es ist nach Vorhergehendem om = ag, ferner yz zu ef und rm zu eg parallel, mithin die Winkel rom und eag, ferner rmo und ega einander gleich), so hat man or = ae.. (*) und wegen der aus gleichen Gründen stattfindenden Congruenz der Dreiecke otn und bfh, ist ot = bf . . (**), mithin folgt wegen der oben angenommenen Gleichheit von ae und bf aus (*) und (**) or = ot. Es heben sich daher diese zwei Componenten, da sie einander gleich und entgegensetzt sind, auf, und es bleiben von allen vorhanden gewesenen und auf o übertragenen Kräften nur noch os (= rm = eg = ac) = p und ou (= tn = fh = bd) = q übrig, welche, da sie auf den nämlichen Punkt o in der zu ac und bd parallel gezogenen Linie ox wirken, die Resultirende p + q geben. Diese Resultirende ist somit die Resultirende der ursprünglich gegebenen Kräfte, hat eine den Richtungen (ac und bd) dieser Kräfte parallele Richtung und ihre Größe ist gleich der Summe der ursprünglichen Kräfte.

Zur völligen Bestimmung der Richtung der Resultirenden ist nun aber noch die Lage des Punktes w auszumitteln, in welchem diese Richtung die Verbindungslinie der Angriffspunkte a, b schneidet. Wegen Δ oaw $\sim$ Δ aeg ist ow : wa = eg : ea und wegen Δ owb $\sim$ bfh ist ow : wb = fh : fb. Da ea = bf ist, so folgt aus beiden Proportionen wa : wb = fh : eg oder wegen fh = bd = q und eg = ac = p, endlich wa : wb = q : p . . (†), d. h. die Resultirende theilt den Abstand der beiden Angriffspunkte a, b in zwei Stücke, die sich umgekehrt verhalten wie die Componenten . . . (††).

Zwei parallele, nach der nämlichen Seite hin auf verschiedene Angriffspunkte wirkende Kräfte haben demnach eine Resultirende, deren Größe der Summe der beiden Kräfte gleich und deren Richtung den Richtungen dieser Kräfte parallel ist, und mit denselben nach der nämlichen Seite hin geht . . . (39)

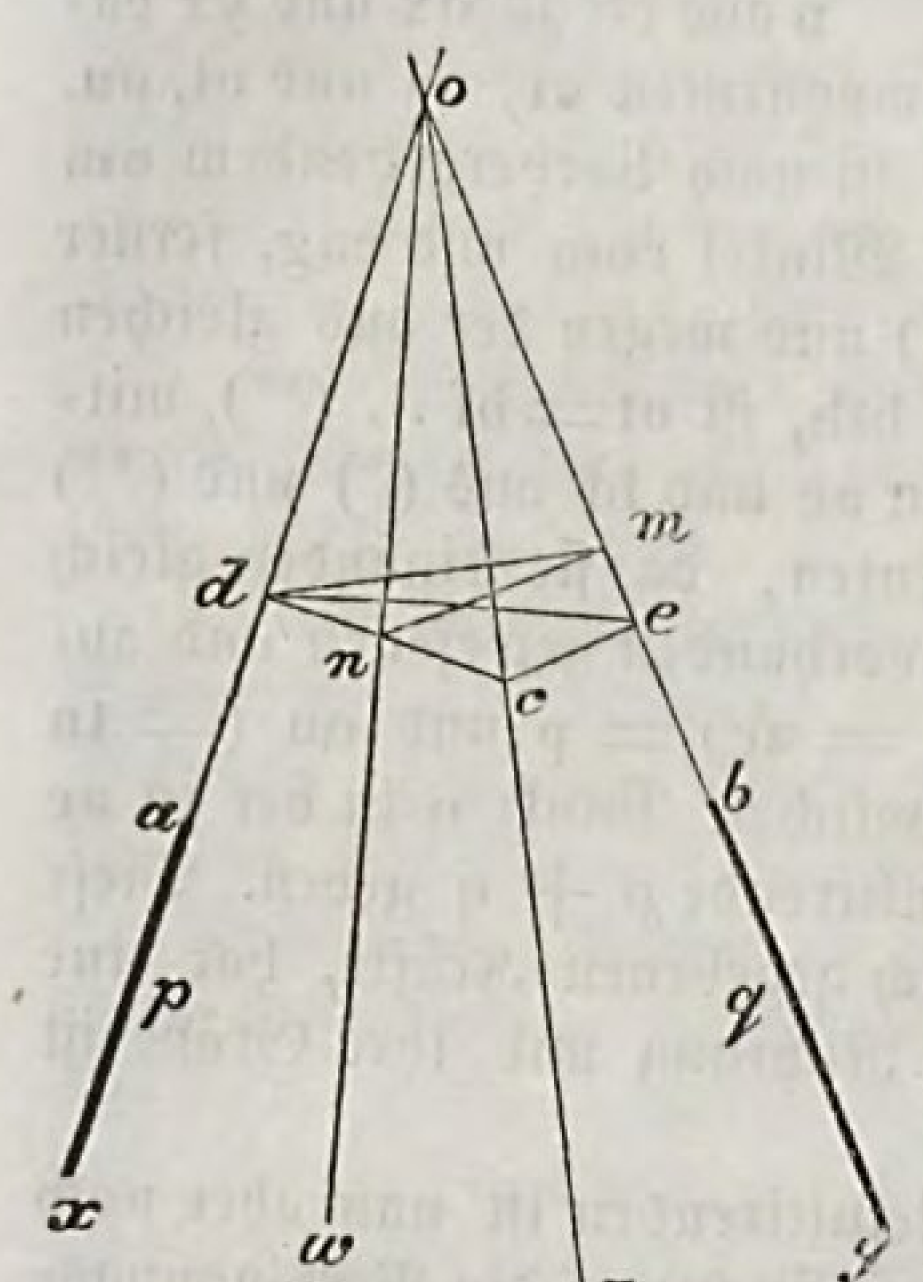
Der Satz (††) ergab sich, ohne daß auf die Größe der Winkel, welche die Richtungen der parallelen Kräfte (p, q) mit der Verbindungslinie ab ihrer Angriffspunkte machen, Rücksicht genommen wurde; die Lage des Punktes w, in welchem die Resultirende diese Verbindungslinie der Angriffspunkte schneidet, ist daher ganz unabhängig von den besagten Winkeln, und die Resultirende geht immer durch diesen Punkt, wenn die parallelen Kräfte wie immer um ihre Angriffspunkte gedreht werden, dabei aber nicht aufhören, unter einander parallel zu sein. Man nennt diesen Punkt w deswegen den Mittelpunkt der parallelen Kräfte und kann ihn als den eigentlichen Angriffspunkt ihrer Resultirenden betrachten.

Wenn man sich die Richtungen der Kräfte p und q gehörig verlängert und auf sie aus dem Punkte w die Senkrechten wm_1, und wl gezogen denkt, so ist wegen $\Delta\, awm_1 \sim \Delta\, bwl$, $wa : wb = wm_1 : wl$, nach (†) ist aber auch $wa : wb = q : p$, somit $wm_1 : wl = q : p$ oder $p \cdot wm_1 = q \cdot wl$ . . (†††).

Fällt man von irgend einem andern Punkte v der Resultirenden auf die Richtungen der parallelen Kräfte p, q Perpendikel vn_1 und vi, so ist, da die Richtungen der Resultirenden ox und der Kräfte p, q zu einander parallel sind, $wm_1 = vn_1$ und $wl = vi$, somit nach (†††) auch $p \cdot vn_1 = q \cdot vi$, d. h. auch **bei zwei auf verschiedene Angriffspunkte wirkenden, parallelen Kräften sind die statischen Momente dieser Kräfte in Bezug auf jeden Punkt ihrer Resultirenden gleich** . . . . (40)

Man kann die eben erörterten Sätze (38), (n), (40) auch umkehren und zeigen, daß wenn die Momente zweier Kräfte in Bezug auf einen Punkt einander gleich sind, dieser Punkt in der Resultirenden dieser Kräfte liegen müsse. Wären (Fig. 43) a, b die Angriffspunkte, ax, by die nicht parallelen Richtungen der zwei

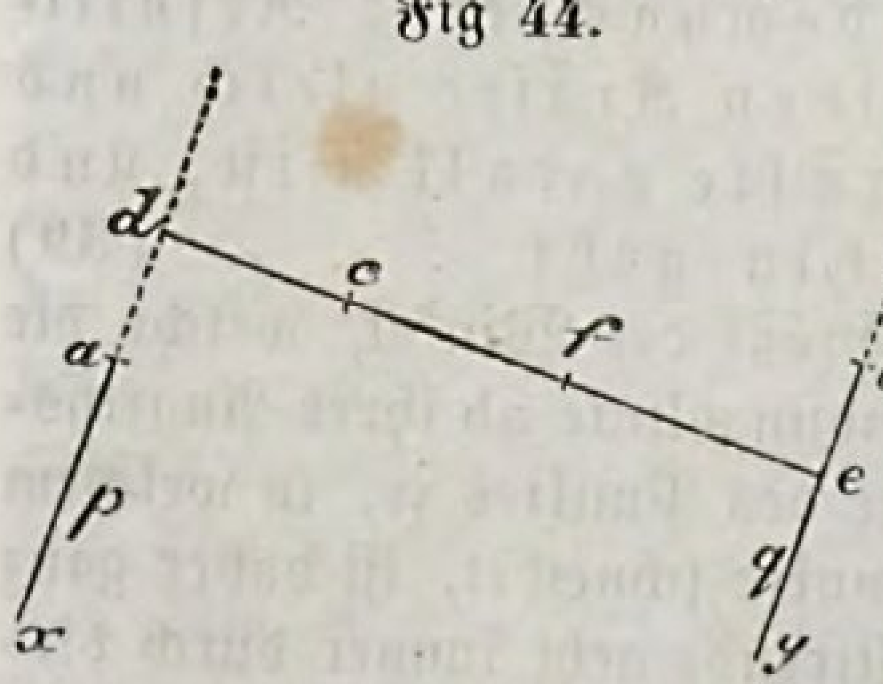
Fig. 43.



Kräfte p, q, ferner die Momente dieser Kräfte in Bezug auf den Punkt c gleich, also $p \cdot cd = q \cdot ce$, . (o) und es gehe die Richtung der Resultirenden von p und q (die man nach **58** findet, indem man die Kräfte p, q in den Durchschnittspunkt o ihrer verlängerten Richtungen versetzt, das Kräftenparallelogramm ergänzt, von o aus die Diagonale zieht und diese verlängert,) nicht durch den Punkt c, sondern durch einen anderen Punkt, so daß sie [illegible] q . on. längert eines der Perpendikel cd oder c[illegible] auf ihre cd im Punkte n schneidet, d. h. es sei n[illegible]ft in dern ow die Resultirende von p und q, [illegible]nkt wenn nm ein von n auf die Richtung der Kraft q gefälltes Perpendikel vorstellt, nach (†††) sein $p \cdot nd = q \cdot nm$. Dividirt man diese Gleichung durch die obige Gleichung (o); so folgt $\frac{nd}{cd} = \frac{nm}{ce}$ oder $nd : cd = nm : ce$; es müßten daher die Dreiecke ndm und cde ähnlich und deshalb der (größere) Winkel mdn dem (kleinern) Winkel edc gleich sein, was aber absurd ist und die Unmöglichkeit der Annahme: die Resultirende von p und q gehe nicht durch den Punkt c, für die zwei Fälle darthut, wo die beiden Kräfte p, q unter einem Winkel auf verschiedene Angriffspunkte a, b oder auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt o wirken.

Wären die Richtungen ax, by der zwei Kräfte p, q (Fig. 44) parallel, der

Fig 44.

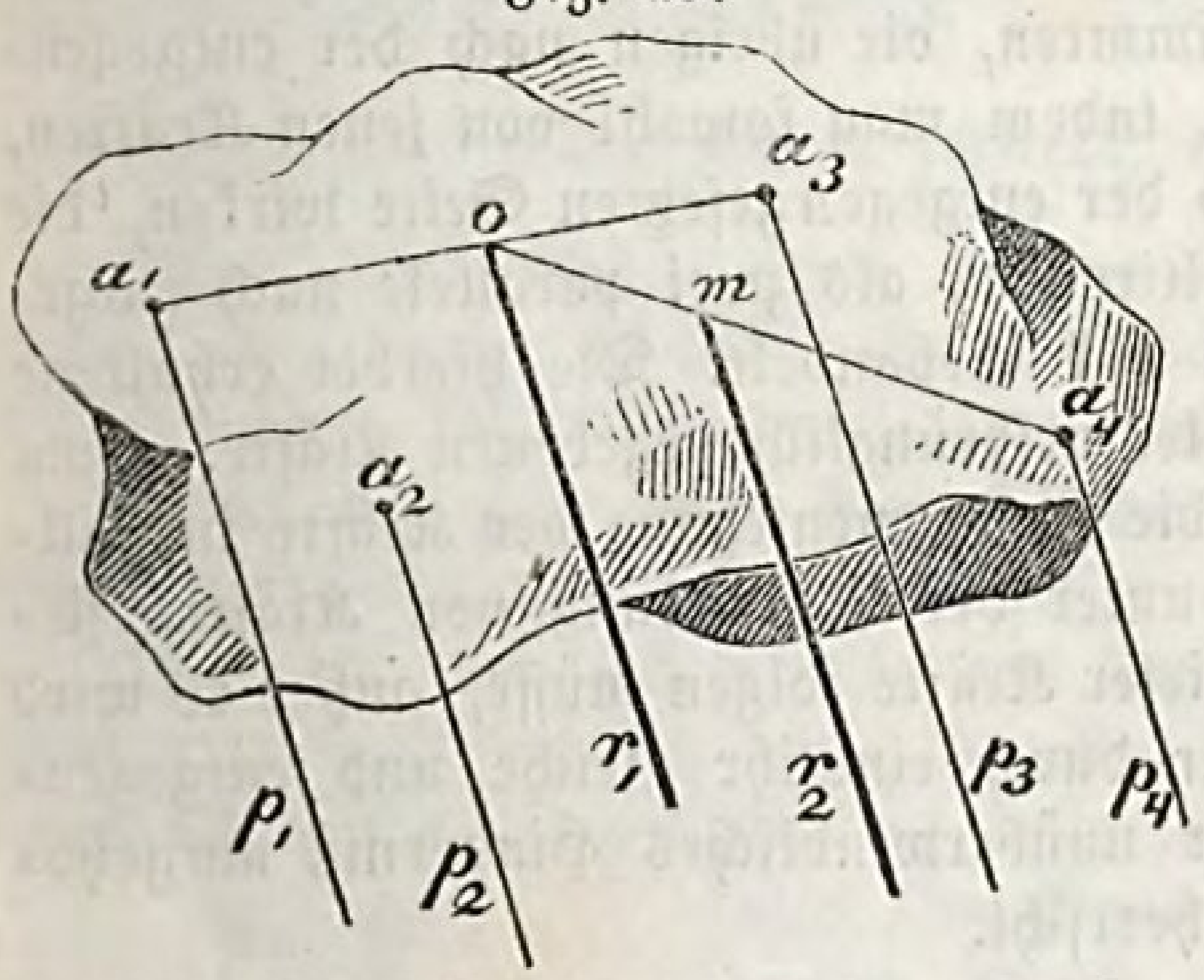


Voraussetzung gemäß die Momente der Kräfte in Bezug auf den Punkt c gleich, also $p \cdot cd = q \cdot ce$ . . (r) und es ginge die Richtung der (den Componenten jedenfalls parallelen) Resultirenden nicht durch c, sondern z. B. durch den Punkt f, so müßten nach (40) auch in Bezug auf diesen Punkt die Momente von p und q gleich, d. i. $p \cdot fd = q \cdot fe$ . . . (s) sein, was unmöglich ist; denn dividirt man die Gleichungen (r) und (s) durcheinander, so erhält man $\frac{cd}{fd} = \frac{ce}{fe}$ d. i. einen echten Bruch gleich einem unechten, was absurd ist; es kann daher, da die Gleichung (r) vorausgesetzt wurde,

die Gleichung (s) nicht richtig, d. h. f kann kein Punkt der Resultirenden sein. Da sich von jedem andern, von c verschiedenen Punkte der Linie de auf ganz gleiche Art das Nämliche zeigen läßt, wie von f, so muß die Resultirende durch c gehen.

60. Resultirende mehrerer paralleler Kräfte. Die Resultirende einer beliebigen Anzahl paralleler Kräfte p_1, p_2, p_3 . . ., die auf ein System fest mit einander verbundener Punkte a_1, a_2, a_3 . . . (z. B. eines und desselben festen Körpers, wie in Fig. 45) nach der nämlichen Seite hin wirken, wird auf folgende Weise gefunden.

Fig. 45.

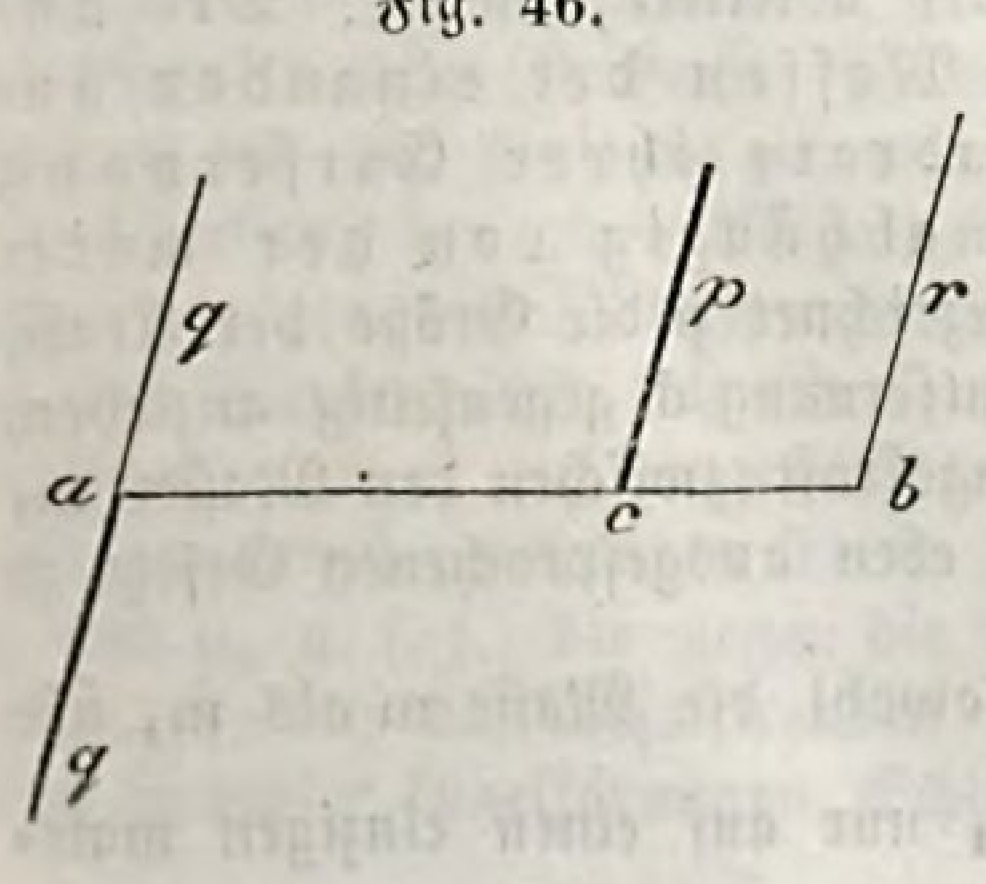


Man sucht zuerst die Resultirenden zweier dieser Kräfte, z. B. p_1 und p_3, indem man die Verbindungslinie $a_1 a_3$ ihrer Angriffspunkte in o so theilt, daß $a_1 o : oa_3 = p_3 : p_1$ ist. Hierauf denke man sich o als den Angriffspunkt der gefundenen Resultirenden $p_1 + p_3 = r_1$; suche nun in gleicher Weise die Resultirende von r_1 und p_4, indem man die Verbindungslinie oa_4 in m so theilt, daß $om : ma_4 = p_4 : r_1$ ist, nehme m als Angriffspunkt dieser zweiten Resultirenden $r_2 = p_1 + p_3 + p_4$ an, verbinde weiter durch dasselbe Verfahren r_2 mit der Kraft p_2 und fahre so fort, bis alle parallelen Kräfte an die Reihe gekommen sind. Die so erhaltene letzte Resultirende ist die Resultirende aller ursprünglich gegebenen Kräfte, und auch für sie muß es einen [illegible] durch welchen sie immer geht, wenn die Componenten, zu einander [illegible]nd, sich auch um ihre Angriffspunkte ganz herumdrehen, und welcher [illegible] Mittelpunkt aller gegebenen Parallelkräfte vorstellt . . (t).

[illegible]ch das umgekehrte Verfahren kann eine gegebene Kraft r in zwei oder mehrere parallele Kräfte zerlegt werden. Zieht man nämlich durch den Angriffspunkt der Kraft r eine gerade Linie und bringt in derselben auf jeder Seite dieses Angriffspunktes und in gewissen Abständen von demselben zwei zu r parallele Kräfte p und q an, deren Summe $=$ r ist, und die sich umgekehrt wie die Abstände ihrer Angriffspunkte vom Angriffspunkte der Kraft r verhalten; so sind p und q zwei mit r parallele und an Wirkung ihr gleichkommende Kräfte. Wendet man das nämliche Zerlegungsverfahren nun auch auf p oder q oder auf beide diese Kräfte und weiter auch auf die Componenten von p und q u. s. f. an, so erhält man anstatt der Kraft r jede beliebige Anzahl ihr äquivalenter und paralleler Kräfte.

61. Resultirende paralleler, auf verschiedene Punkte entgegengesetzt wirkender Kräfte. Wirken die beiden parallelen Kräfte p, q nach entgegengesetzten Richtungen, und ist z. B. $p > q$, so zerlege man die größere Kraft p in zwei zu ihr und unter einander parallele, nach einerlei Seite hin wirkende Kräfte q und r (Figur 46), so daß $p = q + r$ ist . . (u) und lasse

Fig. 46.



die Kraft q auf den Punkt a wirken, so muß die Kraft r ihren Angriff auf der andern Seite von p in einem so gelegenen Punkte b der verlängerten Geraden ac haben, daß $r : q = ac : cb$ . . (v) ist. Da die von a aus nach entgegengesetzten Richtungen wirkenden gleichen Kräfte q, q sich aufheben und somit von allen vorhandenen Kräften nur r übrig bleibt, so ist r die Resultirende der Kräfte p und q. Sie ist diesen Kräften parallel, wirkt nach der nämlichen Seite hin, wie die größere der gegebenen Kräfte und nach (v) in einem

Abstande $bc = ac \cdot \frac{q}{r}$ von dieser. Aus der Gleichung (u) folgt $r = p - q$, d. h. die Resultirende ist der Größe nach dem Unterschiede der gegebenen Kräfte gleich. Sind diese gleich, d. h. ist $p = q$, so ist $bc = \frac{ac \cdot q}{0} = \infty$ d. i. unendlich, was so viel sagen will, als daß es in diesem Falle keine Resultirende gebe.

Die Resultirende mehrerer paralleler auf verschiedene Angriffspunkte wirkender Kräfte, wovon einige nach einer bestimmten, die übrigen nach der entgegengesetzten Seite hin wirken, wird gefunden, indem man sowohl von jenen Kräften, die nach der einen, als von jenen, die nach der entgegengesetzten Seite wirken, die Resultirende sucht, und diese beiden Resultirenden als zwei parallele nach entgegengesetzten Seiten wirkende Kräfte nach **61** behandelt. Die hierbei erhaltene Resultirende ist zugleich die Resultirende aller ursprünglich gegebenen Kräfte. Zum Schlusse der bisherigen Betrachtung über die Zusammensetzung der Kräfte im Allgemeinen noch die Bemerkung, daß jedes unter der Einwirkung von Kräften stehende Bewegliche der Resultirenden aller dieser Kräfte folgen müsse, außer es wird die Wirkung dieser Resultirenden entweder durch eine ihr gleiche und entgegengesetzt wirkende Kraft, oder durch ein ihr unüberwindliches Hinderniß aufgehoben, wo dann Gleichgewicht (Ruhe) herrscht.

IV. Abschnitt.

Vom Gleichgewichte und von der Bewegung fester Körper in Bezug auf die Schwerkraft.

62. Gesetz der Wirkung der Schwere. Die Schwere, d. i. die anziehende Kraft, welche macht, daß die Körper und ihre kleinsten Theilchen stets zur Erde zu fallen suchen (**13**), ist unter allen in der Körperwelt thätigen Kräften die wichtigste. Ihr sind sämmtliche Körper unterworfen und sie modificirt den Einfluß jeder anderen auf einen Körper oder seine Theile wirkenden Kraft; man muß daher zuerst die Gesetze ihrer Wirkungen kennen, wenn man im Stande sein soll, den Erfolg anderer auf den Körper einwirkender Kräfte gehörig zu beurtheilen. Newton bewies, daß die zwischen dem Erdballe und an allen ihm angehörigen Körpern stattfindende Anziehung und die gegenseitige Anziehung, welche die Himmelskörper an einander fesselt und in ihren Bahnen erhält, und welche zum Unterschiede von der irdischen Schwere allgemeine Schwere oder Gravitation genannt wird, identisch seien. Die irdische Schwere wirkt daher nach dem nämlichen Gesetze, wie die allgemeine Schwere, und dieses Gesetz, welches Newton aus der Bewegung der Himmelskörper ableitete, lautet: Die anziehende Kraft ist dem Produkte der Massen der einander anziehenden Körper direkt und dem Quadrate ihrer Entfernung umgekehrt proportional, übrigens unabhängig von der materiellen Beschaffenheit der Körper. Bezeichnet p die Größe der Kraft, mit welcher sich die Massen m und μ in der Entfernung d gegenseitig anziehen, und ist p_1 die Größe der wechselseitigen Anziehungskraft zwischen den Massen m_1 und μ_1 in der Entfernung d_1, so hat man dem eben ausgesprochenen Gesetze zu Folge $p : p_1 = \frac{m\mu}{d^2} : \frac{m_1\mu_1}{d_1^{\,2}}$. Denkt man sich, sowohl die Masse m als m_1 übe ihre Anziehung aus den Entfernungen d und d_1 nur auf einen einzigen mate=

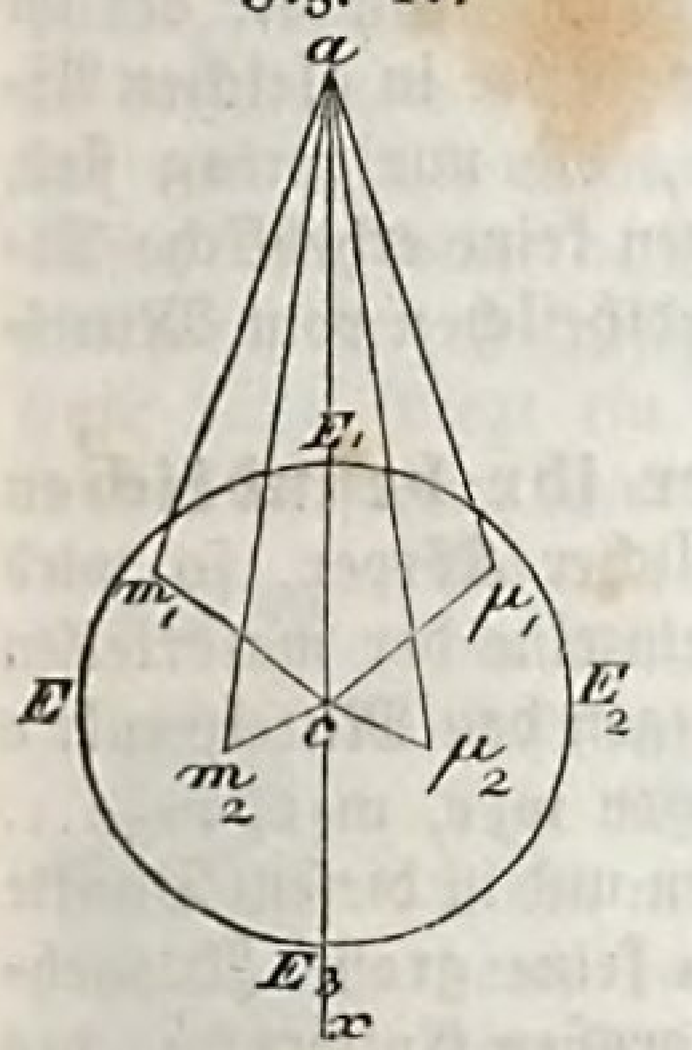
riellen Punkt aus, so geht die vorstehende Proportion über in $p : p_1 = \frac{m}{d^2} : \frac{m_1}{d_1{}^2}$. Setzt man jetzt $m_1 = 1$ und $d_1 = 1$, d. h. läßt man m_1 die zum Messen der Massen und d_1 die zum Messen der Entfernungen angenommene Einheit bedeuten, so ist p_1 die Kraft, womit die Masse-Einheit einen materiellen Punkt in der als Einheit angenommenen Entfernung anzieht, und man erhält $p : p_1 = \frac{m}{d^2} : 1$, somit als Ausdruck für die Kraft p, womit die Masse m einen in der Entferung d befindlichen materiellen Punkt anzieht, die Gleichung

$$p = p_1 \cdot \frac{m}{d^2} \quad . \quad . \quad (41)$$

Streng genommen, kann m nur eine Masse von so kleiner Ausdehnung bedeuten, daß es (im Verhältnisse zur Größe der Entfernung d) gleichgiltig ist, von welchem ihrer Punkte aus diese Entfernung d gemessen wird.

63. Anziehung der Erde auf einen außer ihr gelegenen Punkt. Nehmen wir an, die Erde sei eine gleichförmig mit Masse erfüllte Kugel, so daß, wenn man sich dieselbe aus lauter unendlich dünnen concentrischen Kugelschichten zusammengesetzt denkt, an allen Punkten einer und derselben Schichte ganz die nämliche Dichte herrscht. Es stelle der Kreis $E\ E_1\ E_2\ E_3$ (Fig. 47) die Erdkugel (im Durchschnitte), a einen außerhalb derselben gelegenen Punkt und c ihren Mittelpunkt vor. Bedeutet ferner m_1 die Masse eines so kleinen Theiles einer der besagten concentrischen Schichten, z. B. jener vom Halbmesser m_1c, daß der Unterschied des Abstandes seiner einzelnen Punkte von dem Punkte a in Rücksicht auf die Entfernung dieses Punktes von dem Theile m_1 verschwindet, so ist die Entfernung, in welcher die Masse m_1 den Punkt a anzieht, m_1a und somit nach (41), $p_1 \cdot \frac{m_1}{(m_1a)^2}$ die Kraft, mit welcher diese Anziehung Statt findet. Zu Folge der kugelförmigen Gestalt jeder der concentrischen Schichten muß es in der Schichte vom Halbmesser m_1c in einer durch die Punkte m_1, a und c gelegten Ebene und auf der andern Seite des Mittelpunktes c einen Theil von der Masse $\mu_1 = m_1$ geben, welcher gegen c und a eben so gelegen ist, wie das Massetheilchen m_1, so daß $\mu_1 c = m_1 c$ und $\mu_1 a = m_1 a$ ist, mithin die Dreiecke m_1ac und μ_1ac, da sie überdies die den Punkt a mit dem Centrum c verbindende Linie ac als dritte Seite gemeinschaftlich haben, congruent und die Winkel m_1ac und μ_1ac einander gleich sind, die Linie ac also den Winkel $m_1a\mu_1$ halbirt. Da der Theil μ_1 der Voraussetzung gemäß eine eben so große Masse und von a die nämliche Entfernung hat, wie m_1, so zieht er den Punkt a mit gleicher Kraft wie die Masse m_1 an; es wirken daher auf den Punkt a zwei gleich große Kräfte unter einem Winkel und ihre Resultirende (sie heiße r_1) muß nach (l) S. 71 den Winkel $m_1a\mu_1$ halbiren, demnach mit der Linie ac zusammenfallen und wie diese durch's Centrum c gehen. Die Wirkung der zwei Massetheilchen m_1 und μ_1 besteht also darin, daß sie den Punkt a gegen den Mittelpunkt der Erde hin ziehen. Genau die nämliche Wirkung auf den Punkt a läßt sich für je zwei andere, in der kugelförmigen Schichte vom Halbmesser m_1c, auf entgegengesetzten Seiten des Centrums c und in einer und derselben durch c gehenden Ebene gelegene, gleich große Massetheilchen m_2 und μ_2, m_3 und μ_3 u. s. f., die gegen die Punkte a und c gleiche Entfernung haben, nachweisen, so daß die Resultirenden (r_1, r_2, r_3 . . .) der Anziehungskräfte, die von allen in dieser kugelförmigen Schichte enthaltenen Paaren gegen die Punkte a und

Fig. 47.

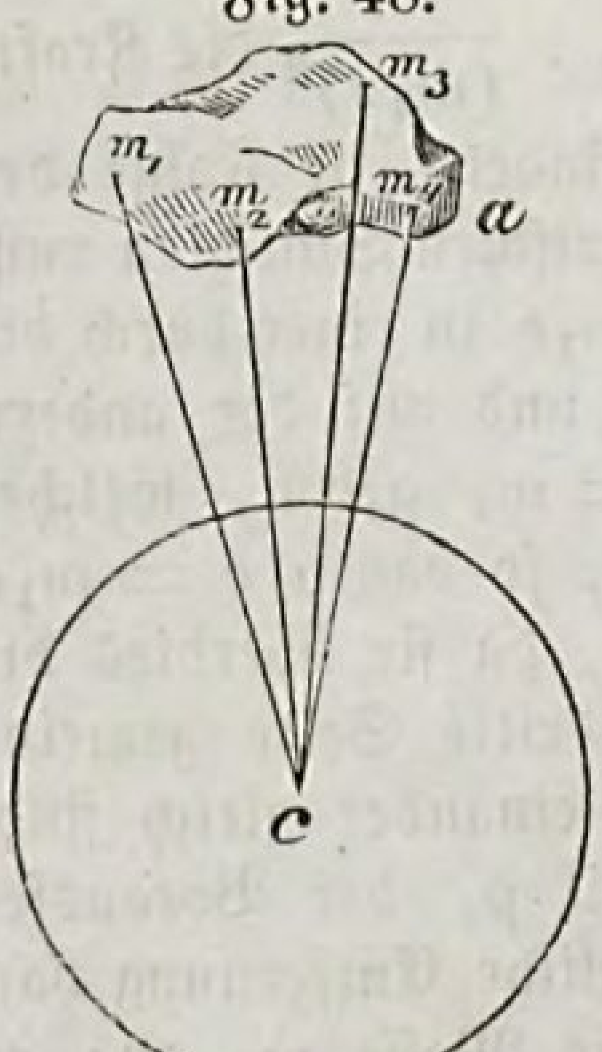


c symmetrisch gelegener Massetheilchen auf den Punkt a ausgeübt werden, insgesammt diesen Punkt gegen c hinziehen. Da nun gleich im Anfange des Absatzes vorausgesetzt worden, daß an allen Punkten der nämlichen concentrischen Schichte die gleiche Dichte herrscht; so muß sich die kugelförmige Schichte vom Halbmesser m_1c in lauter Massetheilchen-Paare eben angegebener Beschaffenheit auflösen lassen und die Gesammtwirkung dieser ganzen Schichte kann nur eine Anziehung des Punktes a gegen ihr Centrum c hin sein. Nun kann man für alle andern der concentrischen Kugelschichten, aus denen wir uns die Erdkugel zusammengesetzt gedacht haben, ganz dasselbe zeigen, wie für die Kugelschichte vom Halbmesser m_1c und somit besteht die Wirkung der gesammten Erde auf einen außer ihr gelegenen Punkt darin, daß sie diesen Punkt gegen ihren Mittelpunkt hinzieht, gerade so, als wäre anstatt der ganzen Erde nur ihr Mittelpunkt allein vorhanden, und es ginge von diesem eine einzige Anziehungskraft aus, die an Wirkung den, von sämmtlichen materiellen Punkten der Erde ausgehenden Anziehungskräften zusammengenommen gleich, d. i. die Resultirende aller dieser Anziehungskräfte ist. Man sagt daher mit Recht, man könne sich die ganze Anziehungskraft der Erde vom Mittelpunkt der letzteren ausgehend denken. Die Anziehung, welche auch der Punkt a gegenseitig auf die Erde ausübt, ist gegen jene, welche derselbe von der unendliche Male größeren Erde erfährt, verschwindend klein, und kann daher ganz unberücksichtigt bleiben.

Die Erde besitzt zwar, wie anderweitige Erscheinungen beweisen, die bei ihr vorausgesetzte vollkommene Kugelgestalt und die gleichförmige Dichte in gleichen Abständen vom Centrum nicht; allein die Abweichungen davon, die nur gering sind, können, wie die Beobachtung und Rechnung lehrt, im Ganzen keine erhebliche Ablenkung der Resultirenden sämmtlicher Anziehungen der Erdtheilchen vom Mittelpunkt der Erde begründen.

64. Anziehung der Erde auf einen außer ihr befindlichen Körper. Ist in Fig. 48 a ein außerhalb der Erde befindlicher Körper, so wird dem Inhalte von **63** gemäß jeder einzelne der materiellen Punkte m_1, m_2, m_3 . . . desselben gegen den Mittelpunkt c der Erde gezogen, so daß die Richtungen m_1c, m_2c, m_3c... dieser Anziehungen gegen c convergiren und in diesem Punkte zusammentreffen. Hat der Körper a keine große Ausdehnung, so kann man in Rücksicht der großen Entfernung des Erdmittelpunktes c vom Körper a (mindestens um den, 860 geog. Meilen betragenden Erdhalbmesser), die Richtungen m_1c, m_2c, m_3c . . . der Kräfte, durch welche die Punkte des Körpers a vom Mittelpunkte der Erde angezogen werden, als parallel annehmen. Diese Kräfte werden daher (**59** und **60**) eine Resultirende haben, die der Summe aller auf die einzelnen Punkte des Körpers a sich erstreckenden Anziehungskräfte gleich ist und ihren Angriffspunkt im Mittelpunkte der Kräfte hat. Die Größe der Resultirenden macht das Gewicht des Körpers a aus und der Angriffspunkt derselben (d. i. der Mittelpunkt sämmtlicher von der Erde ausgehenden Anziehungskräfte, durch welchen die besagte Resultirende immer geht, es mag der Körper wie immer gedreht und gewendet werden (t) S. 77 wird der Mittelpunkt der Schwerkräfte oder Schwerpunkt des angezogenen Körpers genannt. Nur feste Körper haben einen Schwerpunkt, denn nur bei diesen haben wegen des Zusammenhanges ihrer Theilchen die Angriffspunkte der Schwerkräfte jene unveränderliche Verbindung, welche eine Bedingung der Existenz einer Resultirenden, und mithin eines Mittelpunktes paralleler, auf verschiedene Punkte wirkender Kräfte ausmacht (**59**). Man redet zwar auch vom Schwerpunkte flüssiger Körper, dann ist dieser aber so zu nehmen, wie er sich unter

Fig. 48.



der Voraussetzung ergeben würde, daß die kleinsten Flüssigkeitstheilchen miteinander unveränderlich verbunden sind.

Die Anziehung, welche die Erde von einem jeden der ihr angehörigen Körper gegenseitig erfährt, kann, wie dies auch bei der vorausgegangenen Betrachtung geschah, in den meisten Fällen ganz unberücksichtigt bleiben, weil sie wegen den im Verhältniß zur Größe der ganzen Erde unbedeutend kleinen Massen der übrigen irdischen Körper gegen die von der Erde ausgehende Anziehung ganz verschwindet.

65. Gleichgewicht aufgehängter Körper. Aus den im Vorhergehenden erwiesenen Sätzen, nämlich: daß die Resultirende der Kräfte, welche alle materiellen Punkte eines außer oder auf der Erde befindlichen Körpers gegen den Mittelpunkt der Erde ziehen, von diesem Mittelpunkte ausgehe, ihren Angriffspunkt im Schwerpunkte dieses Körpers habe und (der Größe nach) das Gewicht des Körpers bilde, folgt: 1) daß man sich das Gewicht und somit auch die ganze Masse eines jeden festen Körpers in seinem Schwerpunkte vereinigt denken und alle anderen Punkte als schwerlos betrachten könne; 2) daß die Richtung, in welcher ein Körper gegen die Erde zu fallen sucht, durch die Verbindungslinie seines Schwerpunktes mit dem Mittelpunkte der Erde angezeigt werde, und 3) daß man, um einen Körper am Fallen zu hindern, denselben nur nach der Richtung der besagten Verbindungslinie, welche man die Direktionslinie des Körpers zu nennen pflegt, von unten her zu unterstützen oder mittelst eines Fadens, einer Stange o. dergl. von hinreichender Festigkeit aufzuhängen, oder endlich an dem Körper eine Kraft anzubringen brauche, die der Resultirenden sämmtlicher Schwerkräfte und somit dem Gewichte des Körpers an Wirkung wenigstens gleich und überdies entgegengesetzt ist, und deren Richtung in die verlängerte Direktionslinie fällt. Liegt ein Punkt, in welchem ein fester Körper aufgehängt ist, nicht in der Richtung der Direktionslinie, wie dies z. B. in Figur 49 der Fall ist, wo m den Schwerpunkt des Körpers, a den Aufhängepunkt und mx die Direktionslinie bezeichnet, so kann der Körper, wenn er um den Aufhängepunkt a beweglich ist, in der, durch Fig. 49 dargestellten Lage nicht ruhen, sondern muß sich um a so lange drehen, bis die Linie mx, aufwärts verlängert, durch den Punkt a geht; denn erst dann vertritt der Zusammenhang zwischen dem Angriffspunkte m, dem Schwer- und dem Aufhängepunkte die Stelle einer Kraft, welche der von m nach x hin wirkenden Schwerkraft gleich und entgegengesetzt ist, mithin die Wirkung derselben aufhebt. In dieser Stellung, in welcher der Körper ruht und die verlängerte Direktionslinie mx durch den Aufhängepunkt a geht, befindet sich aber der Schwerpunkt m des Körpers mit dem Aufhängepunkte a in einer und derselben Vertikallinie und hat somit die möglich tiefste Lage, d. i. die Lage, wo er dem Mittelpunkte der Erde am nächsten ist. Demnach sieht man, daß jeder in einem vom Schwerpunkte verschiedenen Punkt aufgehängte und um den Aufhängepunkt bewegliche Körper in Folge der Schwere stets die Lage annehmen müsse, bei welcher sein Schwerpunkt sich vertikal unter dem Aufhängepunkte befindet . . (†)

Fig. 49.

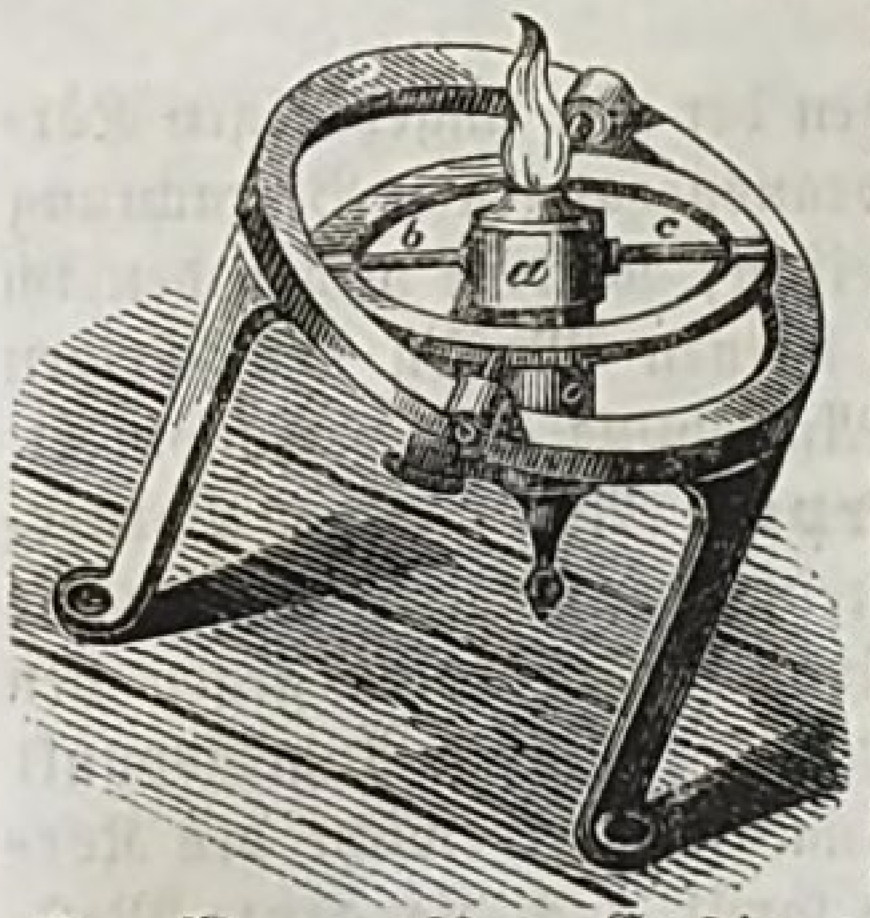


Fig. 50.



Hierauf beruht: die Rolllampe (Fig. 50), d. i. eine gewöhnliche Blechlampe am, die innerhalb eines Reifes A um eine Axe bc beweglich ist. Da der Schwerpunkt m der Lampe unter der Axe bc liegt, so muß, wenn man den Reif auf einer passenden Fläche fortrollt, die Lampe sich um ihre Axe so drehen, daß sie immer vertikal hängen bleibt. Sie wird daher während des Weiterrollens, ohne daß Oel verschüttet wird, fortbrennen. Die Schiffslampe (Fig. 51). Sie besteht aus einer Oellampe a, die sich um eine oberhalb ihres Schwerpunktes o angebrachte Axe bc innerhalb eines horizontalen Ringes 1

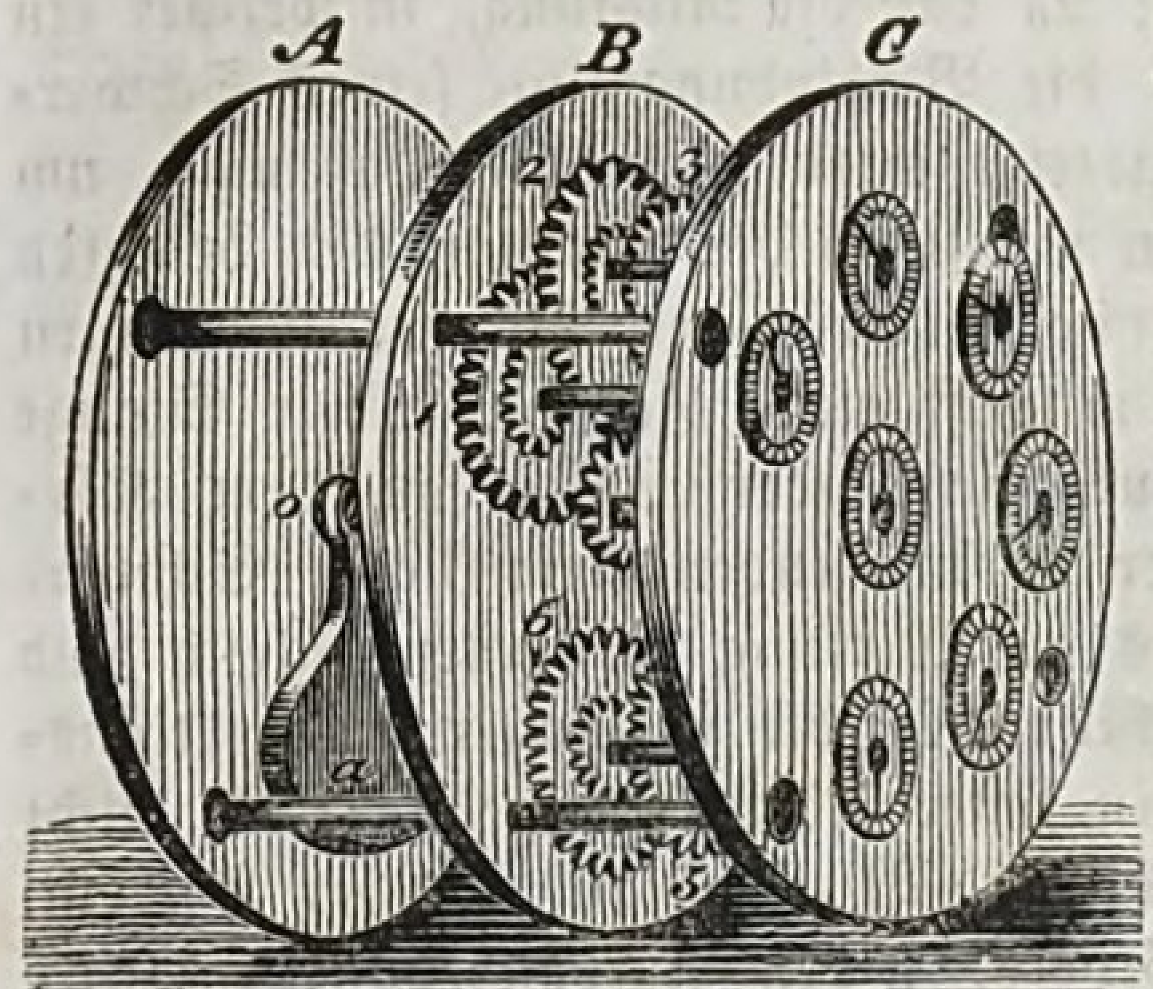
Fig. 51.



drehen kann, während dieser Ring 1 sich wieder in einem zweiten größern Ringe 2 um eine auf der Axe des Ringes 1 senkrechte Axe zu drehen vermag. Bei dieser Einrichtung wird die mittelst der Füße festgeschraubte Lampe ungeachtet der nach allen Seiten hin erfolgenden Schwankungen des Schiffes stets vertikal hängen und somit, ohne daß Oel verschüttet wird, fortbrennen. Denkt man sich an der Stelle der Oellampe einen Compaß, d. i. eine Büchse, worin sich eine über einem getheilten Kreise um eine vertikale Axe frei bewegliche Magnetnadel befindet, und es liege der Schwerpunkt der Compaßbüchse ebenfalls unter der Axe bc, so hat man die Einrichtung des Schiffscompasses, welche gestattet, daß die Magnetnadel unabhängig von den Schwankungen des Schiffes stets in der ihr zukommenden horizontalen Stellung von Süden nach Norden, aus welcher der Schiffmann die Richtung seines Schiffes erkennt, verbleibe.

Der Wegmesser. Es seien in Fig. 52 A, B, C drei untereinander, in paralleler Stellung

Fig. 52.

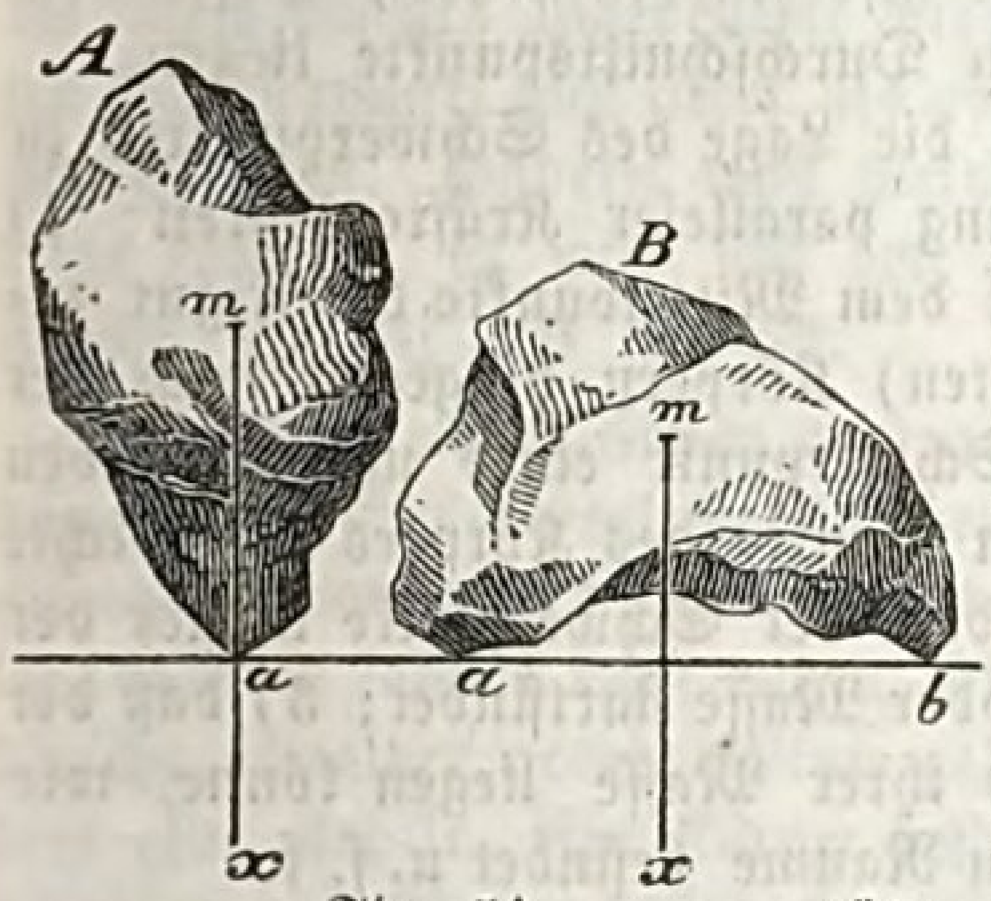


durch Säulchen vereinigte Metallscheiben und a ein metallener Körper, der zwischen den Scheiben A und B um eine Axe beweglich ist, welche bei o im Körper a festgemacht ist und sich in den Scheiben A, B, C drehen kann. Es sei ferner dort, wo sie aus der Scheibe B hervortritt, ein kleines gezähntes Rad festgemacht, welches, wenn es sich dreht, die übrigen zwischen den Scheiben B und C enthaltenen Zahnräder, die um, in diesen Scheiben laufende Axen beweglich sind, in Bewegung setzt, indem es in die Zähne des Rades 1 eingreift, dieses Rad 1, durch ein an seiner Axe angebrachtes Getriebe das Zahnrad 2 treibt, das Zahnrad 2 wieder in gleicher Weise auf das Zahnrad 3 wirkt und diese nämliche Verbindung zwischen jedem andern Zahnrade und dem nächstfolgenden stattfindet. Bei dieser Einrichtung muß das Zahnrad 2 sich bedeutend langsamer bewegen, als das Zahnrad 1 (z. B. 10mal langsamer, wenn das Rad 2 10mal mehr Zähne hat, als das Getriebe an der Axe des Rades 1), das Zahnrad 3 wieder langsamer als 2 u. s. f., so daß das in der Figur mit 6 bezeichnete letzte dieser Zahnräder z. B. einmal herumgeht, während das Rad 1 100000 Umläufe macht. Die Axe jedes Rades trägt an dem durch die Scheibe C hindurchgehenden Ende einen Zeiger, der über einem getheilten Kreis spielt, und aus der Vergleichung des Standes dieser Zeiger vor und nach der dem Räderwerke eine Zeit hindurch ertheilten Bewegung kann man die Anzahl der Umläufe ersehen, die jedes der Räder während dieser Zeit gemacht hat. Denkt man sich nun den ganzen Apparat zwischen den Speichen eines Wagenrades festgemacht, so wird er während jedes Umlaufes dieses Rades sich einmal um sich selbst herumbrehen, und da hiebei der Körper a, dessen Schwerpunkt unter seiner Dreharе liegt, nach (+) S. 81 immer seine vertikale Stellung beibehält, so muß, während das Wagenrad sich einmal herumdreht, auch diese Axe, mithin auch das Zahnrad 1 eine Umdrehung erleiden; man kann also, wenn man eine Zeit lang gefahren ist, aus dem Stande der Zeiger ersehen, wie viele Umdrehungen das Wagenrad während dieser Zeit gemacht hat, und erhält, indem man den Umfang dieses Rades mit der Anzahl der stattgefundenen Umläufe desselben multiplicirt, die Länge des zurückgelegten Weges.

Daß man den eben als Wegmesser beschriebenen Apparat in gleicher Weise auch verwenden kann, um zu bestimmen, wie viele Umläufe irgend ein Maschinenrad, eine Scheibe, Welle oder irgend ein in drehender Bewegung befindlicher Körper in einer bestimmten Zeit macht, bedarf keiner Erwähnung.

66. Gleichgewicht unterstützter Körper. Ein von unten her gestützter und um den Stützpunkt beweglicher, sonst sich selbst überlassener fester Körper kann nur ruhen, wenn er im Schwerpunkte selbst unterstützt ist oder wenn die vom Schwerpunkte nach unten gezogene Vertikallinie (Direktionslinie), wenigstens durch einen unbeweglichen Punkt des besagten Körpers geht, indem nur so die in der Richtung dieser Vertikallinie nach abwärts wirkende Schwere und zwar durch den Widerstand aufgehoben wird, den der unbewegliche Punkt leistet. Dies

Fig. 53.



ist der Fall bei dem Körper **A** in Fig. 53, wo **m** der Schwerpunkt, **a** der Stützpunkt und **mx** die Direktionslinie bezeichnet. Man kann überhaupt sagen, daß ein unterstützter Körper nur dann ruhe, wenn sein Unterstützungspunkt mit seinem Schwerpunkte in einer und derselben Vertikallinie liegt oder (in Fällen, wo wie bei **B**, Fig. 53 mehrere Unterstützungspunkte vorhanden sind oder der Körper in einer ganzen Fläche, welche seine Basis heißen mag, unterstützt ist), wenn die vom Schweipunkte aus abwärts gezogene Vertikale zwischen die Unterstützungspunkte (**a**, **b**) oder in die Basis (**ab**) hineinfällt. Die schiefen Thürme zu Pisa und Bologna können nicht fallen, weil bei denselben die von ihrem Schwerpunkte abwärts gezogene Vertikale durch die Grundfläche (so wie bei dem im Fig. 54 abgebildeten schiefen Thurme die Linie **mx** durch die Basis **ab**) geht und die Theile der überhängenden Masse unter einander fest vereinigt sind.

Fig. 54.



67. Bestimmung der Lage des Schwerpunktes. Das zur Ruhe Bringen und in Ruhe Erhalten eines schweren Körpers setzt sehr häufig eine genauere Kenntniß der Lage seines Schwerpunktes voraus. Man kann die Lage dieses Schwerpunktes aber entweder durch Rechnung oder durch Versuche bestimmen. Die Rechnung führt nur bei Körpern zum Ziel, die in ihrer ganzen Ausdehnung eine gleichförmige Dichte haben, d. h. homogen sind. — In den meisten Fällen ist die Anwendung des höheren Calculs erforderlich, und doch ist, da die wenigsten Körper die Eigenschaft der Homogenität im vollkommenen Grade besitzen, die Bestimmung des Schwerpunktes fast immer nur eine mehr oder weniger näherungsweise.

Die Methoden, den Schwerpunkt durch Versuche zu ermitteln, gründen sich auf den vorn erwiesenen Satz: daß der Schwerpunkt eines in Ruhe befindlichen frei aufgehängten oder unterstützten Körpers mit dem Aufhänge- oder Unterstützungspunkte in einer und derselben Vertikallinie liegt, und bestehen in Folgendem. Man hängt den Körper, dessen Schwerpunkt aufgefunden werden soll, an einem biegsamen Faden frei auf und läßt ihn daran zur Ruhe kommen. Denkt man sich nun den Faden (der nach **13** eine vertikale Richtung hat) durch den Körper hindurch verlängert, so muß in dieser Verlängerungslinie offenbar der Schwerpunkt liegen. Befestigt man hierauf den Faden an einer andern, dem früheren Befestigungsorte nicht gerade entgegengesetzten Stelle des Körpers und verlängert wieder wie vorhin die Richtung des Fadens, so muß der Schwerpunkt auch in dieser Verlängerung liegen, kann sich daher nur in einem Punkte befinden, der beiden Verlängerungslinien gemeinschaftlich ist, d. i. im Durchkreuzungspunkte derselben. Eine andere Methode ist: Man legt den betreffenden Körper auf eine Schneide oder scharfe Kante, z. B. eines Prisma's, und rückt ihn auf dieser Kante so lange nach verschiedenen Seiten hin und her, bis er auf selber ruht. Denkt man sich nun durch die Auflagkante und den Körper eine Vertikalebene geführt, so muß in dieser der Schwerpunkt des Körpers liegen. Bringt man hierauf den Körper in zwei anderen Positionen (und zwar immer mit in einer andern Ebene gelegener Fläche) auf der besagten Kante zur Ruhe und führt jedesmal durch ihn und die Auflagkante eine Vertikalebene, so muß sich der Schwerpunkt auch in jeder dieser Ebenen,

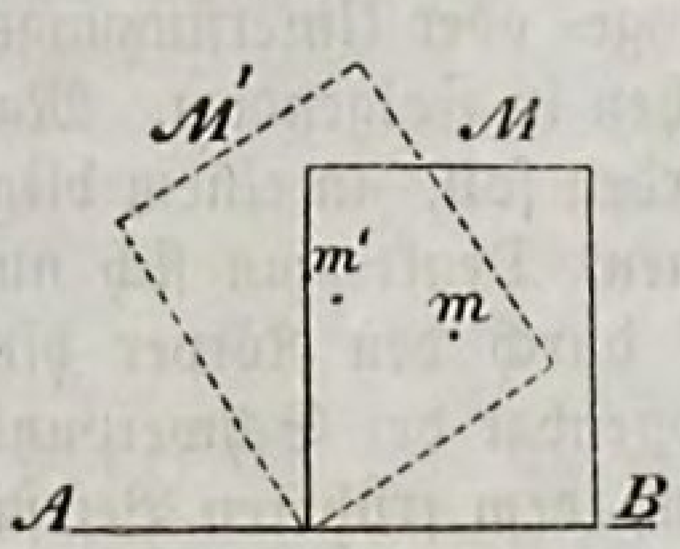
mithin in drei verschiedenen Ebenen befinden, kann also nur in einem, diesen drei Ebenen gemeinschaftlichen Punkte, d. h. in ihrem Durchschnittspunkte liegen.

Die wirkliche Ausführung dieser Methoden, die Lage des Schwerpunktes zu bestimmen, sowie die Theorie der Zusammensetzung paralleler Kräfte lehren: 1) daß bei homogenen Körpern der Schwerpunkt mit dem Mittelpunkte der Figur zusammenfalle, bei heterogenen (ungleichförmig dichten) Körpern hingegen nach der Seite der größern Dichte zu liege; 2) daß der Schwerpunkt eines und desselben Körpers seine Lage ändere, sowie an irgend einem Punkte des Körpers die Dichte oder die Masse vermehrt oder vermindert wird, indem der Schwerpunkt immer der Stelle näher rückt, wo eine Zunahme der Dichte oder Masse stattfindet; 3) daß der Schwerpunkt bei manchen Körpern auch außerhalb ihrer Masse liegen könne, wie z. B. bei einem Ringe, wo er sich im innern leeren Raume befindet u. s. f.

Aus dem eben Gesagten und der vorn besprochenen Unterstützung des Schwerpunktes erklärt sich die Haltung unseres Körpers beim Stehen, Gehen, Aufstehen, Lastentragen u. s. w. Diese Haltung muß nämlich immer eine solche sein, daß die Direktionslinie durch die Basis (Grundfläche) eines feststehenden Fußes geht oder zwischen die Grundflächen beider Füße hineinfällt. Deswegen muß jeder Mensch beim Gehen, indem er mit dem rechten Fuß austritt, seinen Körper etwas nach links, und wenn er den linken Fuß hebt, etwas nach rechts neigen (um nämlich die Direktionslinie immer in die Basis bald des linken bald des rechten Fußes zu bringen). Menschen, welche Lasten auf dem Rücken tragen, müssen sich dabei nach vorwärts neigen, und wer eine größere Last in der rechten Hand trägt, muß seinen Körper nach der linken Seite hinneigen, damit die vom gemeinschaftlichen Schwerpunkte aus, der jetzt in der am Rücken oder in der rechten Hand getragenen Last liegt, gezogene Vertikallinie in die Füße hineinfällt. Die ganze Kunst des Seiltänzers besteht in der Fertigkeit, durch entsprechende Bewegungen seines Körpers, mehr oder weniger starkes Ausstrecken seiner Hände oder Verschieben der Balancirstange nach einer oder der anderen Seite hin in jedem Augenblicke den Schwerpunkt seines Körpers so zu verrücken, daß die Direktionslinie immer durch das Seilstück geht, worauf er mit einem Fuße steht, oder welches (wenn er nämlich auf beiden Füßen steht) zwischen beiden Füßen enthalten ist u. s. w.

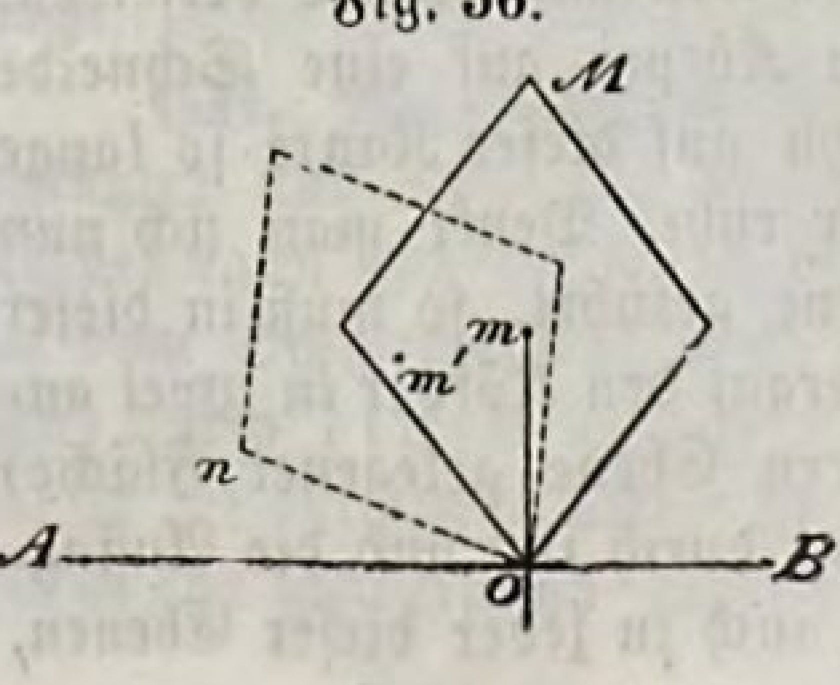
68. Stabile und labile Lagen der Körper. Wenn ein Körper — der, weil sein Schwerpunkt sich zu bewegen gehindert ist, nicht fallen kann, — eine solche Lage hat, daß, wenn man ihn aus derselben etwas herausbringt, sein Schwerpunkt höher zu liegen kömmt, als vorher, so heißt die Lage eine sichere oder stabile, weil der aus derselben herausgebrachte, nachher aber sich selbst überlassene Körper immer wieder in diese Lage zurückkehren muß, da nach **65** der Schwerpunkt stets die möglich tiefste Lage einzunehmen sucht. So ist die Lage des Körpers **M** (Fig. 55) auf der Fläche **AB** eine stabile; denn wird er aus derselben, z. B. in die punktirte Stellung **M'** gebracht, so kehrt er, da sein von **m** nach **m'** gehobener Schwerpunkt nun nicht unterstützt ist und dem Zuge der Resultirenden der Schwerkräfte folgen muß, in die vorige tiefere Lage von selbst wieder zurück.

Fig. 55.



Ist die Lage eines ruhenden Körpers hingegen eine solche, daß, wenn man ihn aus derselben herausbringt, sein Schwerpunkt tiefer zu liegen kömmt als früher, so heißt diese Lage eine unsichere oder labile, weil der aus derselben herausgebrachte Körper, sich selbst überlassen, dahin nicht wieder zurückkehren kann, indem der Schwerpunkt die ihm gewordene tiefere Lage mindestens zu behaupten oder, falls dies möglich ist, eine noch tiefere Lage einzunehmen sucht. Eine solche unsichere oder labile Stellung hat der Körper **M** auf der Fläche **AB** in Fig. 56; denn neigt man ihn nur etwas nach der einen oder der andern Seite hin, so daß er z. B.

Fig. 56.

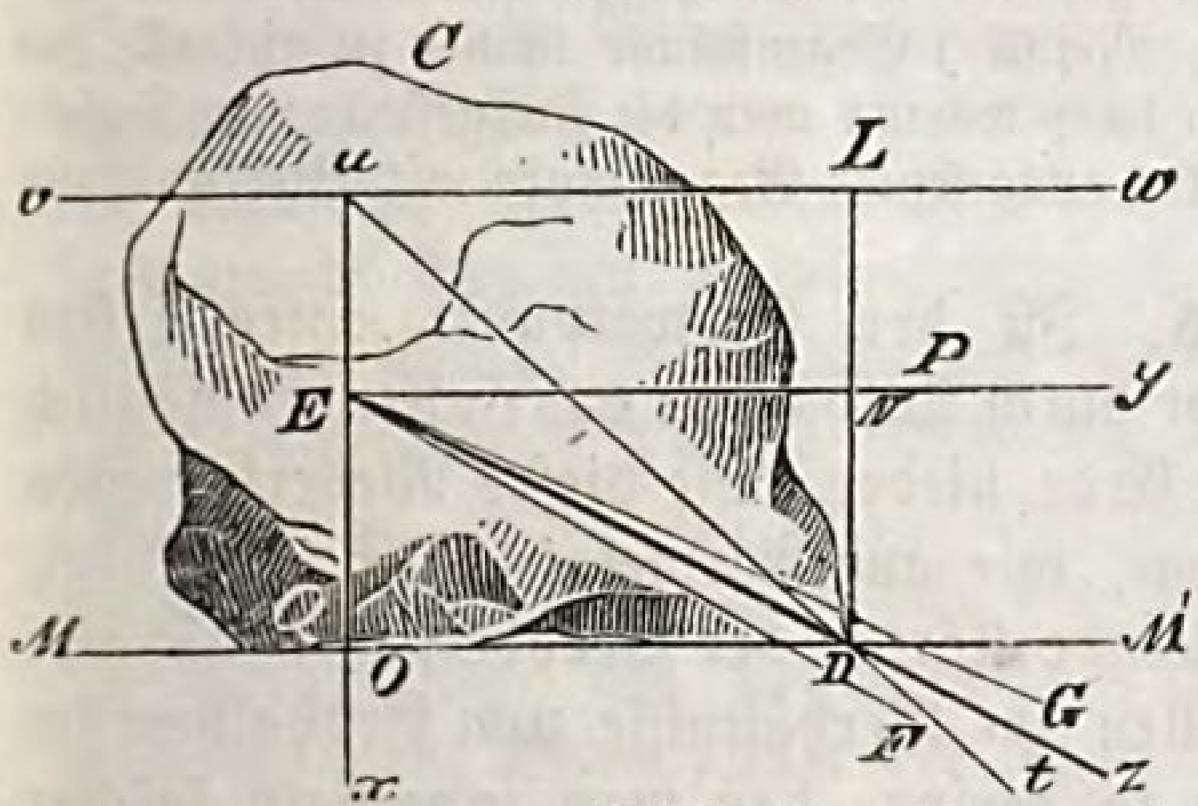


die durch Punkte angedeutete Stellung erhält, so liegt sein von m nach m′ gebrachter Schwerpunkt nun tiefer als vorher und kann nicht nur in die vorige Lage m nicht zurückkehren, sondern muß vielmehr, da er nicht unterstützt ist, eine noch tiefere Lage suchen; es wird sich der Körper daher so lange bewegen, bis er mit der Fläche **on** auf **AB** aufliegt.

Ein an einem Faden oder auf eine sonstige Art aufgehängter und um den Aufhängepunkt frei beweglicher Körper hat im Zustande der Ruhe immer eine stabile Lage; ein von unten unterstützter Körper kann aber (wie in den Fig. 53—56) bald in stabiler, bald in labiler Lage ruhen. Findet die Unterstützung von unten her in wenigstens 3 nicht in einer geraden Linie gelegenen Punkten statt, so ist die Lage des Körpers stets eine stabile. Ein Körper befindet sich in einer stabilen Lage, ein Körper ist stabil oder ein Körper besitzt Stabilität, ist gleichbedeutend. Bringt man einen Körper durch Neigen o. dgl. aus seiner stabilen Lage immer weiter heraus, so kömmt er endlich in eine labile Lage (wie man dies an dem Körper **M** in Fig. 55 sieht). Bei fortgesetztem Neigen folgt auf die labile Lage wieder eine stabile, dann wieder eine labile u. s. f. und in jeder dieser Lagen ist er in Ruhe oder Gleichgewicht, während er in den Zwischenlagen sich selbst überlassen, immer fallen muß.

69. Bestimmung der Stabilität. Eine jede Kraft, deren Richtung mit der vom Schwerpunkte aus wirkenden Resultirenden der Schwerkräfte nicht zusammenfällt und nicht parallel ist, sucht einen (in Folge Unterstützung, wegen der Reibung auf seiner Unterlage oder eines sonstigen Hindernisses wegen) ruhenden Körper entweder fortzuschieben oder umzuwerfen. Unter der Voraussetzung, der Körper ruhe auf seiner Unterlage mit Stabilität und lasse sich nicht fortschieben, kann die zum Umwerfen desselben erforderliche Kraft folgendermaßen bestimmt werden. Es sei in Fig. 57 **CD** ein durch den Schwerpunkt **E** eines auf der Fläche **MM′** stabil ruhenden Körpers gehender vertikaler Durchschnitt und **Q** das Gewicht dieses Körpers, welches als eine vom Schwerpunkte **E** aus nach der vertikalen Richtung **Ex** abwärts wirkende Kraft betrachtet werden kann. Wirkt ferner auf **E** nach der horizontalen Richtung **Ey** eine Kraft **P**, die den Körper umzuwerfen sucht, so wird der Körper so lange ruhen, als die Resultirende der Kräfte **P** und **Q** innerhalb **DO** liegt, z. B. die

Fig. 57.



Richtung **DF** hat. Fällt sie aber außerhalb **D**, z. B. nach **G**, so muß der Körper umfallen. Die Kraft **P**, welche macht, daß die besagte Resultirende von **P** und **Q** gerade durch den Punkt **D** geht und welche somit, um den kleinsten Theil vermehrt, ein Heraustreten der Resultirenden außerhalb **DO**, also ein Umfallen des Körpers **CD** zur Folge haben muß, kann man als das Maß der zum Umwerfen des Körpers nöthigen Kraft, d. i. als das Maß der Standfähigkeit oder Stabilität ansehen. Zur Bestimmung der Größe dieser Kraft (der Größe der Standfähigkeit) führt der Satz (37) S. 74: daß zwei auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt (**E**) wirkende Kräfte (**P** und **Q**) sich umgekehrt verhalten wie die von irgend einem Punkte (**D**) der Resultirenden (**EDz**) auf die Richtungen dieser Kräfte gezogenen Senkrechten. Diesem Satz zufolge ist also $P : Q = DO : DN$ oder wegen

$DN = EO$, $P : Q = DO : EO$, und hieraus $P = \frac{Q \cdot DO}{EO}$ . . . (I), d. h. die

Standfähigkeit eines Körpers ist desto größer, oder mit andern Worten: es ist zum Umwerfen eines Körpers eine desto größere Kraft erforderlich, 1) je größer das Ge-

wicht (Q) des Körpers ist; 2) in einem je größeren Abstande (DO) die Direktionslinie (Ex) von der Kante (D), um welche der Körper beim Umwerfen gedreht wird, die Grundfläche (MM′) passirt; und 3) je kleiner der senkrechte Abstand **EO** des Schwerpunktes (E) von der besagten Grundfläche ist.

Geht die Richtung der Kraft **P**, welche den Körper umzuwerfen sucht, nicht durch dessen Schwerpunkt (E), sondern durch einen höher gelegenen Punkt, z. B. von v nach w, so kann man sich die Linie **OE** bis zum Zusammentreffen mit vw verlängert denken und den Durchschnittspunkt u zum Angriffspunkt der Kräfte **P** und **Q** machen. Es wird dann die Linie ut die Richtung der durch **D** gehenden Resultirenden von **P** und **Q** darstellen und die Proportion gelten, $P : Q = DO : DL$, woraus $P = \frac{Q \,.\, DO}{DL}$ oder, wegen $DL = Ou$, $P = \frac{Q \,.\, DO}{Ou}$ . . . (II) folgt. Hält man die Gleichung (II) mit der vorigen Gleichung (I) zusammen, so sieht man, daß unter übrigens gleichen Umständen die Stabilität eines Körpers desto geringer, derselbe mithin desto leichter umzuwerfen ist, in einer je größeren Entfernung (Ou) von der Basis des ruhenden Körpers die Kraft angebracht wird, die das Umwerfen zu bewerkstelligen hat.

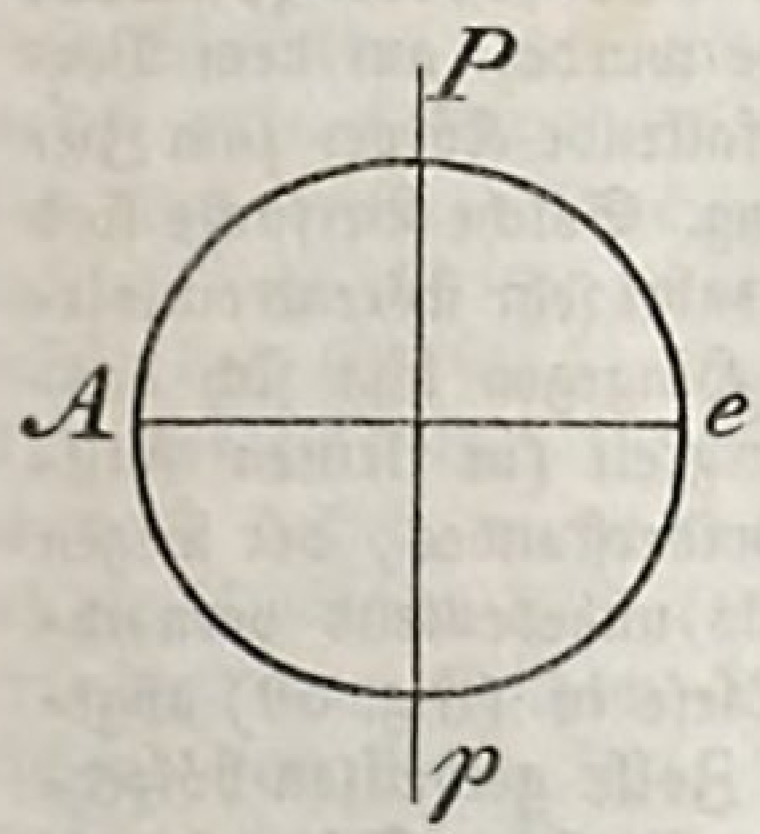
Aus den unter 1), 2) und 3) angeführten Punkten erklärt sich, und zwar aus Punkt 1), warum ein Wagen dem Umwerfen mehr unterliegt, wenn er mit Heu, Wollsäcken, Hohlglas oder derlei Materialien von geringem Gewichte, als wenn er (zu gleicher Höhe) mit Steinen, Metall oder anderen gewichtigeren Stoffen beladen ist; warum Säulen, Postamente, Wände u. s. w. von Holz leichter umfallen, als wenn sie bei den nämlichen Dimensionen aus Stein oder Metall bestehen. Aus Punkt 2) folgt: daß Wägen mit größerer Spurweite (größerem Abstande der auf einer und derselben Axe laufenden Räder), daß Candelaber, Kleiderstöcke und andere Möbel oder sonstige Gegenstände größerer Höhe mit großen Grundflächen oder nach Außen geschweiften Füßen, dicke oder mit Strebepfeilern versehene Mauern, Menschen mit auseinander gestellten Füßen weniger leicht umgeworfen werden können. Der Inhalt des Punktes 3) endlich erklärt, warum man, um eine größere Stabilität zu erreichen, beim Bepacken eines Wagens die specifisch schwerern (z. B. Metall-) Gegenstände immer zu unterst, die leichtern Güter hingegen zu oberst unterzubringen hat; warum man die Fußgestelle von Tafellampen, hoher Leuchter oder anderer, dem Umfallen ausgesetzter Gegenstände mit Blei ausfüllt oder auf eine andere Art beschwert u. s. w.

70. Gesetze des freien Falles. Ist der Schwerpunkt eines festen Körpers nicht unterstützt, demselben auch nicht durch Aufhängen das Fallen unmöglich gemacht, so bewegt sich der Körper gegen die Erde nieder. Die dieses Niederbewegen (Fallen) bewirkende Schwerkraft nimmt zwar, wie aus Formel (41) S. 79 folgt, an Intensität immer zu, je mehr sich der fallende Körper der Erdoberfläche nähert; allein dieser Intensitäts-Unterschied ist in allen im Verhältnisse zum Erdhalbmesser kleinen Entfernungen von der Erdoberfläche so gering, daß man innerhalb solcher Entfernungen die Schwere als eine constante Kraft betrachten kann. Gehörig, mit Berücksichtigung des Luftwiderstandes angestellte Versuche über den freien Fall der Körper lehren nämlich, daß die Bewegung eines jeden von nicht zu großer Höhe frei herabfallenden Körpers als eine gleichförmig beschleunigte angesehen werden kann, und es lassen sich somit auf den freien Fall alle in **50** für diese Bewegung entwickelten Formeln anwenden. In diesen Formeln bedeutet dann g die Geschwindigkeit, die ein frei fallender Körper am Ende der ersten Sekunde erlangt, d. i. die Acceleration der Schwere. Für Wien findet man nach der Formel $g = \frac{2s}{t^2}$, (man sehe (29) S. 65), durch Versuche, (indem man nämlich die Zeit t mißt, in welcher ein frei fallender Körper von einer gleichfalls gemessenen beträchtlicheren Höhe s herabfällt) die Acceleration $g = 31{\cdot}03$ Fuß. (Einen genaueren Weg, die Größe der Acceleration im freien Falle zu bestimmen, wird ein folgendes Kapitel kennen lehren.) Mithin ist nach Formel (27) S. 65, nämlich $s = \frac{gt^2}{2}$

der Weg, den ein fallender Körper in der ersten Sekunde, d. i. in der Zeit $t = 1$, zurücklegt, $= \frac{31\cdot03}{2} = 15\cdot51$ Fuß. Die Endgeschwindigkeit c eines frei fallenden Körpers nach Verlauf einer gewissen Zeit t ist (nach den Formeln $c = gt$ oder $c = \sqrt{2gs}$) $= 31\cdot03t$ oder $= 7\cdot88 \sqrt{s}$, und die Zeit t, welche hindurch der Körper frei fallen muß, um einen bestimmten Weg s zurückzulegen, ist (nach Formel $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$) $= 0\cdot254 \sqrt{s}$. Der Weg s endlich, den ein Körper im freien Falle in der Zeit t zurücklegt, ergibt sich (aus der Formel $s = \frac{gt^2}{2}$) $= 15\cdot51t^2$.

Alle diese Formeln und Werthe gelten aber nur für das Fallen der Körper im leeren Raume, wo ihrer Bewegung kein dieselbe änderndes Hinderniß im Wege steht. In mit Luft, mit Wasser oder mit andern Stoffen erfüllten Räumen hingegen fällt des Widerstandes wegen, welchen diese Stoffe je nach ihrer Beschaffenheit den fallenden Körpern in verschiedenem Grade entgegensetzen, der Werth für den Raum, die Zeit und die Geschwindigkeit mehr oder weniger anders aus. Je größer die Masse des fallenden Körpers ist, je mehr materielle Theilchen demnach mit gleicher Kraft gegen die Erde gezogen werden, desto leichter wird er den besagten Widerstand überwinden, desto schneller somit zu Boden fallen können. Im leeren Raume fallen alle Körper ohne Unterschied ihrer Größe, Dichte und materiellen Beschaffenheit gleich schnell. Man überzeugt sich davon mit Hilfe der Luftpumpe, eines Apparates, dessen Einrichtung und Wirkung erst später beschrieben werden kann und mittelst welches man leicht einen Raum darstellt, der, wenn er auch nicht wirklich ein vollkommen leerer ist, doch ohne Fehler als solcher angenommen werden kann. In einem solchen Raume fällt ein noch so großes Stück Gold und ein ganz kleines dünnes Goldblättchen oder eine Flaumfeder, ein Stückchen Papier u. s. w. ganz gleich schnell zu Boden. Es ertheilt daher die Schwere allen materiellen Punkten an einem und demselben Orte die nämliche Acceleration. Da nun nach der in **51** für die gleichförmig beschleunigte Bewegung aufgestellten Proportion $p : p_1 = mg : m_1 g_1$ . . (†), in welcher p und p_1 die konstanten Kräfte bedeuten, welche den Massen m und m_1 die Accelerationen g und g_1 ertheilen, die Accelerationen einzelner materieller Punkte (für welche $m = m_1$ ist), den Intensitäten der constanten Kräfte direkt proportional sind, die Intensität der Schwere aber dem Vorhergehenden zu Folge abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung des von der Erde angezogenen Punktes vom Mittelpunkt der Erde wächst, so folgt, daß die Acceleration der Schwere für alle an einem und demselben Beobachtungsorte frei fallende Körper gleich, an verschiedenen, vom Erdmittelpunkte ungleich weit entfernten Orten jedoch ungleich groß, und zwar an den entfernteren Orten in dem angegebenen Verhältnisse des Quadrates der Entfernung kleiner sein müsse.

Fig. 58.



Aus der Proportion unter (†), welche, — wenn man sich die Massen m und m_1 an einem und demselben Orte fallend denkt, wo dann $g = g_1$ ist, in $p : p_1 = m : m_1$ übergeht, folgt der schon in **15** unter (†) ausgesprochene Satz, daß die an einem und demselben Orte die Massen m und m_1 zu Boden ziehenden Schwerkräfte d. i. die Gewichte dieser Massen den letztern (den Massen) proportional sind. Da die Erde (Fig. 58) die Gestalt einer an zwei diametral entgegengesetzten Seiten (an den beiden Polen P, p nämlich) plattgedrückten Kugel hat, so haben die Punkte

der Erdoberfläche eine desto geringere Entfernung vom Mittelpunkte der Erde, je weiter sie gegen die Pole hin liegen, und es nimmt daher schon deswegen die Intensität und somit auch die Acceleration der Schwere an der Oberfläche der Erde von ihrem Aequator **Ae** aus gegen ihre Pole **P**, p hin immer zu. Wir werden auf die ungleiche Größe der Intensität und der Acceleration der Schwere an verschiedenen Orten der Erdoberfläche bei einer andern Gelegenheit zurückkommen.

Bedeuten **s** und s_1 Wege, welche an einem und demselben Orte der Erde von freifallenden Körpern während der Zeiten t und t_1 zurückgelegt werden, so ist, nach (**50**), $s = \frac{gt^2}{2}$ . . (a) und $s_1 = \frac{g{t_1}^2}{2}$ . . (b), woraus $s : s_1 = t^2 : {t_1}^2$ . . (c) folgt, d. h. die Wege, welche an einem und demselben Orte im freien Falle nach Verlauf gewisser Zeiten zurückgelegt worden sind, verhalten sich wie die Quadrate dieser Zeiten . . (d). Da nun nach (**70**) ein in Wien frei fallender Körper in der 1. Sekunde (in der Zeit $t = 1$) 15·51 Fuß durchläuft, so wird er nach 2, 3, 4, 5 u. s. w. Sekunden Wege zurückgelegt haben, die im Verhältnisse der Quadrate dieser Zeiten, d. i. 4mal, 9mal, 16mal, 25mal u. s. w. größer sind, als 15·51 Fuß. Hat nun der Körper

nach der 1. Sek. 15·51 Fuß,
» » 2. » 4 × 15·51 »
» » 3. » 9 × 15·51 »
» » 4. » 16 × 15·51 »
» » 5. » 25 × 15·51 » u. s. f.

zurückgelegt, so muß er während oder in

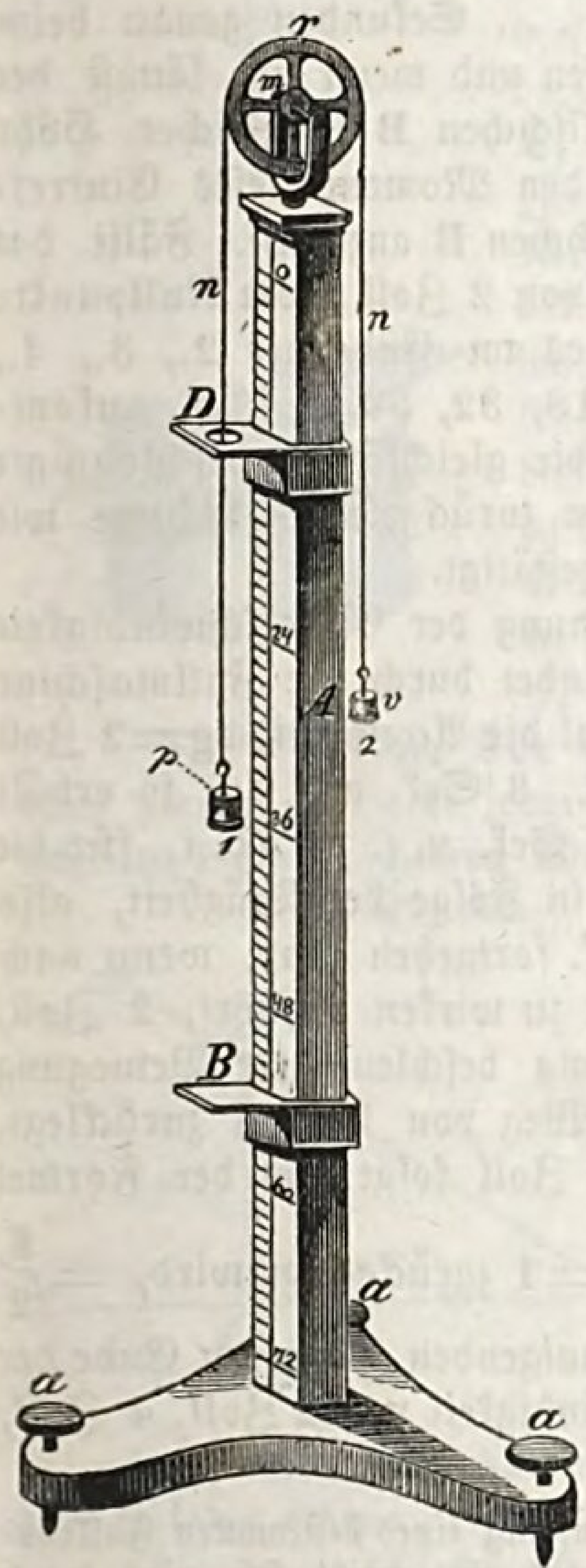
der 2. Sek. d. Weg 4 × 15·51 Fuß — 1 × 15·51 Fuß = 3 × 15·51 Fuß,
» 3. » » » 9 × 15·51 » — 4 × 15·51 » = 5 × 15·51 »
» 4. » » » 16 × 15·51 » — 9 × 15·51 » = 7 × 15·51 »
» 5. » » » 25 × 15·51 » — 16 × 15·51 » = 9 × 15·51 »

u. s. w. zurückgelegt haben. Die Räume, durch welche der Körper in Wien während der einzelnen auf einander folgenden Sekunden frei fällt, verhalten sich demnach wie 15·51 : 3 × 15·51 : 5 × 15·51 : 7 × 15·51 : 9 × 15·51 u. s. f. oder wie 1 : 3 : 5 : 7 : 9 u. s. w., nämlich wie die ungeraden Zahlen. Daß dieses Verhältniß auch für jeden andern Ort als Wien und für alle andern gleichen Zeittheile gilt, folgt aus der obigen Proportion (c), welche sich aus den Gleichungen (a) und (b) für alle (mit dem Orte, wo das Fallen des Körpers stattfindet, sich ändernden) Werthe von g ergibt. Es bestehen daher für den freien Fall, so wie für jede gleichförmig beschleunigte Bewegung, die Gesetze : 1) die Räume, welche die fallenden Körper an einem und demselben Orte nach gewissen Zeiten durchlaufen haben, verhalten sich wie die Quadrate dieser Zeiten und 2) die Räume, welche in oder während den aufeinander folgenden gleichen Zeiten durchlaufen werden, wachsen wie die ungeraden Zahlen . . . . (42)

71. Experimentaler Beweis der Gesetze des freien Falles. Das Gesetz unter 1) findet, wie schon vorn angedeutet wurde, auf dem Versuchswege, indem man nämlich die Zeiten mißt, welche frei fallende Körper zum Zurücklegen bestimmter Räume brauchen, seine volle Bestätigung. Solche Versuche sind aber wegen der dazu erforderlichen hohen Fallräume und des dabei sehr störend einwirkenden Widerstandes der Luft nicht leicht auszuführen. Hingegen läßt sich dasselbe mittelst Atwood's Fallmaschine ohne alle Schwierigkeit (in kleinen Fallräumen und ohne daß es einer Berücksichtigung des Luftwiderstandes, der wegen der sehr geringen Geschwindigkeit an dieser Maschine als unbedeutend vernachlässigt werden kann, bedarf,) experimental nachweisen. Diese in (Fig. 59) abgebildete Maschine besteht aus einer etwa 6 Fuß hohen, in Zolle getheilten hölzernen Säule **A**, die sich mittelst der in ihrem Fußgestelle angebrachten Schrauben **a**

genau vertikal stellen läßt und an ihrem oberen Ende ein Rad r trägt, welches um eine horizontale Axe m sehr leicht beweglich und am Umfange mit einer Rinne zur Aufnahme der über das Rad r (Rolle) hingehenden Schnur n versehen ist, die an den Enden Schälchen 1, 2 trägt. Haben die Schälchen ein gleiches Gewicht und ist die Schnur recht leicht, so bleiben (nach der in einem folgenden §. gegebenen Theorie der Rolle und weil, wenn auch die vom Rade r beiderseits herabgehenden Stricke der Schnur n wie immer ungleich sind, das von der größeren Länge des einen Schnurstückes herrührende Uebergewicht auf der einen Seite des Rades zu klein ist, als daß es dieses Rad in Bewegung zu setzen vermöchte) die Schälchen in jeder Stellung längst der Säule A in Ruhe. Legt man aber auf das eine Schälchen 1 ein entsprechend großes Gewichtchen p, so wird dieses, indem es zu Boden zu fallen sucht, das Schälchen 1 mit abwärts bewegen (gleichzeitig das durch die Schnur n mit dem Schälchen 1 zusammenhängende Schälchen 2 in die Höhe steigen und das Rad um seine Axe sich drehen machen). Die Bewegung, welche so das Gewichtchen p und das Schälchen 1 macht, ist nothwendig eine gleichförmig beschleunigte: denn sie wird durch die auf das Gewichtchen p wirkende und während seines Fallens längst der unbedeutend hohen Säule A als völlig constant anzusehende Schwerkraft erzeugt; die Wege, die das Gewichtchen p (und mit demselben zugleich das Schälchen 1 nach Verlauf gewisser Zeiten längst der Säule A zurückgelegt haben wird, müssen sich demnach, wenn das oben unter 1) ausgesprochene Gesetz richtig ist, wie die Quadrate dieser Zeiten verhalten, d. h. p muß nach 2 Sekunden einen 4mal, nach 3 Sekunden einen 9mal u. s. w. größern Weg als in der 1. Sekunde durchlaufen haben.

Fig. 59.



Das Gewichtchen p wird aber an der Fallmaschine in der 1. Sekunde (und eben so in allen folgenden Sekunden) einen kürzeren Weg zurücklegen, als beim freien Fall in der Luft: denn an der Fallmaschine hat die, dieses Gewichtchen p bewegende Schwerkraft nicht, wie im freien Falle, dieses Gewichtchen allein, sondern auch noch die träge Masse der Schälchen, der Schnur und des Rades zu bewegen; es muß sich daher an der Fallmaschine die nämliche bewegende Kraft unter mehrere Massetheilchen vertheilen, es können demnach diese Theilchen und somit auch das Gewichtchen p eine nur geringere Geschwindigkeit (Acceleration) erlangen und daher nach (27) S. 65 in einer und derselben Zeit nur kleinere Wege zurücklegen, als im freien Falle. Diese Verminderung der Acceleration und Wege muß offenbar desto mehr betragen, je größer bei derselben Größe des Gewichtchens p die besagte träge Masse (sie heiße der Kürze wegen M), oder je kleiner bei der nämlichen Größe der Masse M das Gewichtchen p ist. Es wird daher, wenn man durch Auflegen entsprechender gleicher Gewichte v, v auf die Schälchen 1, 2 (etwa 1000 Gran auf jedes und am besten in Form eines Cylinders von gleichem Durchmesser mit dem Schälchen) die träge Masse M hinreichend vergrößert, leicht durch Versuche die Größe des Gewichtchens p ausfindig gemacht werden können, welches auf das Schälchen 1 mehr aufgelegt werden

muß, damit dieses Schälchen in der 1. Sekunde nur einen Weg von 1 oder 2 Zoll zurücklege *). Hat man so die für den Fallraum von 1 Zoll in der ersten Sekunde erforderliche Größe des Gewichtchens p ermittelt und dasselbe auf das Schälchen 1 gebracht, so wird dieses, wenn man es vom Anfangspunkte o der Zolleintheilung an der Säule **A** aus seine Bewegung parallel zur genau vertikal gestellten Säule beginnen läßt, nach 2, 3, 4, 5 . . . . . Sekunden genau beim 4ten, 9ten, 16ten, 25sten u. s. w. Theilstriche eintreffen und wenn ein, längst der Säule **A** mit Federung verschiebbares horizontales Tischchen **B** in gleicher Höhe mit dem betreffenden Theilstrich festgestellt worden, den Moment dieses Eintreffens durch einen vernehmlichen Schlag auf dieses Tischchen **B** anzeigen. Fällt das Gewichtchen p in der ersten Sekunde durch eine Höhe von 2 Zoll (vom Nullpunkte bis zum 2. Theilstrich der Zolleintheilung), so wird es am Ende der 2., 3., 4., 5., u. s. w. Sekunde genau bei den Theilstrichen 8, 18, 32, 50 u. s. w. ankommen. In beiden Fällen zeigt sich also das Gesetz für die gleichförmig beschleunigte Bewegung, (daß sich nämlich die nach gewissen Zeiten zurückgelegten Räume wie die Quadrate dieser Zeiten verhalten), vollkommen bestätigt.

Auch die Formel $c = gt$ (S. 65) zur Bestimmung der Endgeschwindigkeit (c) bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung findet durch die Fallmaschine ihre volle Bestätigung. Setzt man nämlich in dieser Formel die Acceleration $g = 2$ Zoll und die Zeit t nach und nach $=$ 1 Sekunde, 2 Sek., 3 Sek. u. s. f., so erhält man für die Endgeschwindigkeiten nach der 1., 2., 3. Sek. u. s. w. (d. i. für die Geschwindigkeiten, mit welchen das Bewegliche blos in Folge der Trägheit, also mit gleichförmiger Bewegung nach der 1., 2., 3. Sek. fortgehen muß, wenn nach der 1., 2., 3. Sek. u. s. w. die beschleunigende Kraft zu wirken aufhört, 2 Zoll, 4 Zoll, 6 Zoll u. s. w., d. h. ein in gleichförmig beschleunigter Bewegung befindlicher Körper, der in der ersten Sekunde den Weg von 1 Zoll zurücklegt, (denn für den angenommenen Werth von $g = 2$ Zoll folgt aus der Formel $s = \frac{gt^2}{2}$ der Weg, der in der 1. Sek., d. h. für $t = 1$ zurückgelegt wird, $= \frac{g}{2}$, d. i. 1 Zoll) bewegt sich nach Aufhebung der beschleunigenden Kraft am Ende der 1., 2., 3. Sek. u. s. w. mit einer respektiven Geschwindigkeit von 2 Zoll, 4 Zoll,

---

*) Die Größe des Uebergewichtchens p, welches zur Erlangung eines bestimmten Fallraumes in der 1. Sekunde auf der Fallmaschine erforderlich ist, ergibt sich auch durch Rechnung, wie folgt. Würde das Gewichtchen p frei fallen, so geschehe dies mit der Beschleunigung g (= 31·03 W. Fuß für Wien) und daher gemäß (31) S. 65 mit der bewegenden Kraft (mit der Größe der Bewegung) pg. Da nun auf der Fallmaschine diese bewegende Kraft der Masse $2P + p$ die Beschleunigung g_1 ertheilt, also zur bewegenden Kraft $(2P + p)g_1$ wird, wenn P das Gewicht eines der Schälchen sammt seiner Belastung v bedeutet; so besteht offenbar die Gleichung $pg = (2P + p)g_1$, und es ist sonach $p = \frac{2Pg_1}{g - g_1}$ . . . (†). Da aus der Gleichung $g = \frac{2s}{t^2}$ (29), wenn man darin $t = 1$ setzt, $g = 2s$, d. h. die Beschleunigung = dem doppelten Fallraume in der 1. Sekunde folgt; so erhellt, daß man, um die Größe von p für einen bestimmten Fallraum in der 1. Sekunde (z. B. von 1 oder 2 Zoll) zu erhalten, in der vorstehenden Gleichung (†) für g_1 nur den doppelten Werth dieses gewünschten Fallraumes zu substituiren hat. Offenbar ist der sich ergebende Werth von p nur ein näherungsweise richtiger, weil bei seiner Berechnung das Trägheitsmoment der Rolle r außer Acht gelassen wurde. Hat diese Rolle, wie dies gewöhnlich auch der Fall ist, die Gestalt eines mit dünnen Speichen und schmalem Kranze versehenen Rades, so ist fast ihre ganze Masse am Radumfange vertheilt und sie erhält beinahe die nämliche Geschwindigkeit, wie die sie umfangende Schnur und die an dieser hängenden Gewichte. Man kann daher, ohne bedeutend zu fehlen, das Gewicht der Rolle und der Schnur zu den Gewichten der belasteten Schälchen hinzurechnen, so daß dann statt 2P die Summe des Gewichtes der Rolle, der Schnur und der beiden belasteten Schälchen zu setzen kömmt.

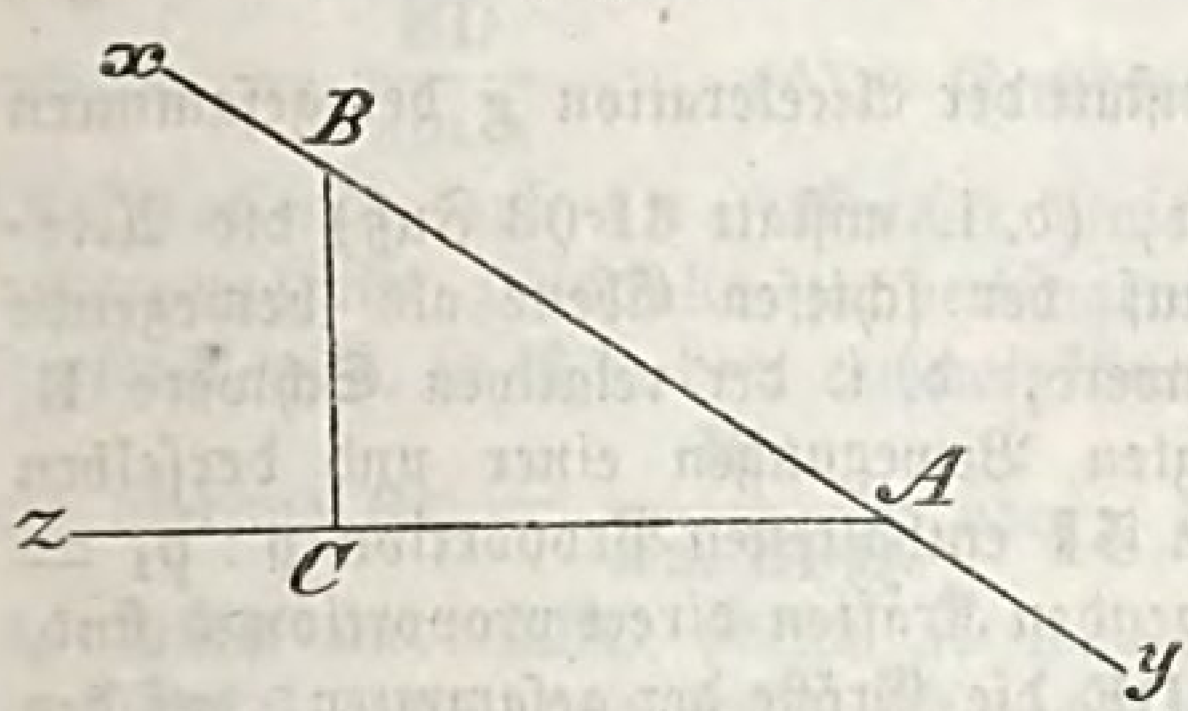
Fig. 60.



6 Zoll u. s. w. gleichförmig weiter. Dies findet in der That an der Fallmaschine Statt. Denn gibt man dem Gewichtchen p, welches auf das Schälchen 1 mehr aufgelegt werden muß, damit dieses in der ersten Sekunde 1 Zoll zurücklegt, eine längliche Gestalt, so daß es, wie Fig. 60 in fast natürlicher Größe zeigt, über das Schälchen 1 beiderseits hervorragt, und stellt an dem Theilstrich der Säule A, bei welchem das Schälchen 1 nach einer bestimmten Zeit, z. B. nach 4 Sek., ankommen muß, (also an dem 16. Theilstrich), ein horizontales Tischchen D fest, das in der Mitte ein kreisrundes Loch von solcher Größe hat, daß wohl das Schälchen mit dem aufliegenden cylindrischen Gewichte v, nicht aber das Gewichtchen p durch kann, so bleibt dieses, die beschleunigende Kraft übende Gewichtchen zu Ende der 4. Sek. auf dem Tischchen D liegen, und die Schale 1 sammt dem Gewichte v, welche das runde Loch in D passiren, legen blos in Folge der Trägheit in der 5., 6. Sek. u. s. w. immer einen Weg von 8 Zoll zurück.

72. Gesetze der Bewegung auf einer schiefen Ebene. Schief oder geneigt heißt jede Ebene, die mit der Richtung der Schwere (Vertikalrichtung) einen schiefen Winkel bildet. Stellt xy (Fig. 61) den Durchschnitt einer

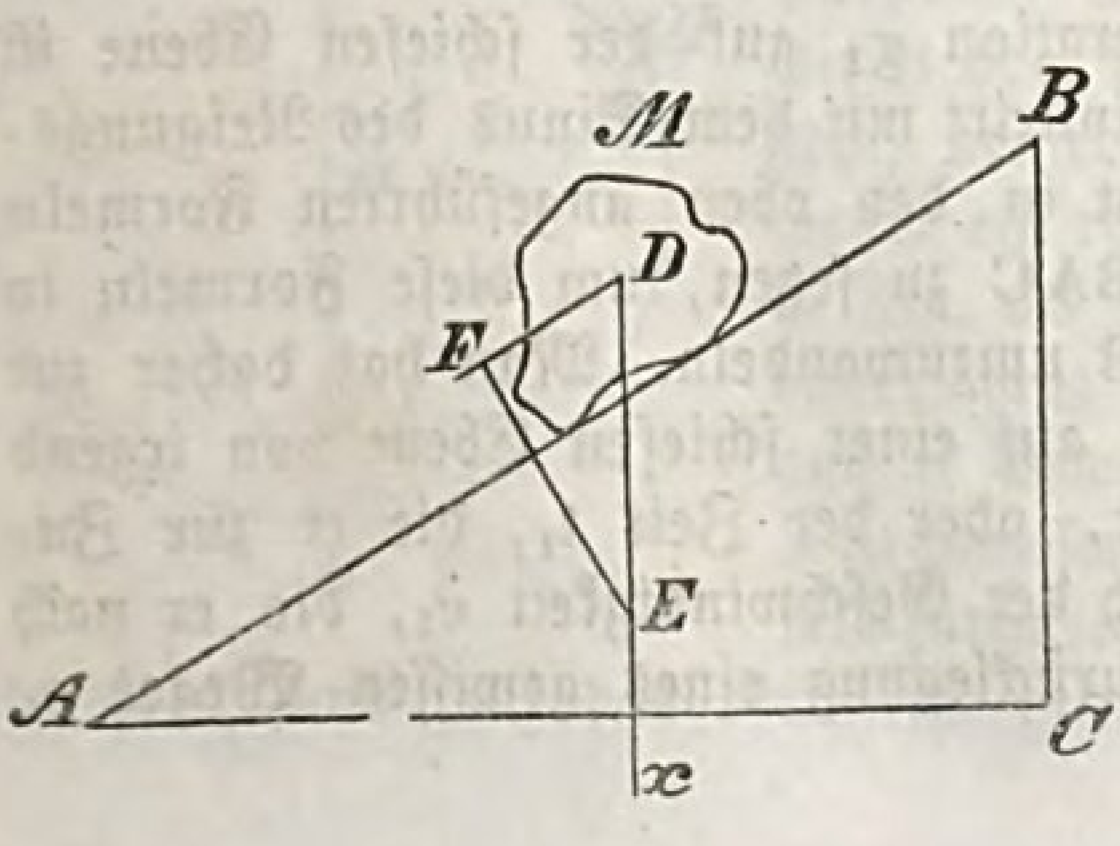
Fig. 61.



solchen schiefen Ebene mit einer auf derselben senkrecht stehenden Vertikalebene vor, man zieht in besagter Vertikalebene durch einen beliebigen Punkt A des Durchschnittes xy eine horizontale gerade Linie Az und von irgend einem höher gelegenen Punkt B von xy eine auf Az lothrechte BC, so heißt der Winkel BAC, der die Neigung der schiefen Ebene gegen jede horizontale anzeigt, der Neigungswinkel, die Linie AB heißt die Länge, BC die Höhe und AC die Basis der schiefen Ebene.

Auf einer schiefen Ebene kann ein schwerer Körper für sich allein nicht ruhen, was aus dem Umstande einleuchtet, daß die den Körper vertikal abwärts ziehende (also gegen die geneigte Ebene schief wirkende) Schwerkraft sich immer in zwei Componenten zerlegt denken läßt, wovon die eine senkrecht gegen die schiefe Ebene, die andere parallel zu dieser Ebene wirkt und letztere (nach (36) S. 73) unabhängig von der ersteren den Körper über die schiefe Ebene hinabbewegen muß, wenn, wie hier vorausgesetzt wird, keine andere Kraft und auch kein Hinderniß (Reibung zwischen der schiefen Ebene und dem auf ihr befindlichen Körper u. s. w.,) den Körper auf der schiefen Ebene in Ruhe erhält. Ist nämlich

Fig. 62.



AB (Fig. 62) wieder ein Durchschnitt einer schiefen Ebene mit einer auf ihr senkrecht stehenden Vertikalebene ABC und geht diese zugleich durch den Schwerpunkt D des auf die schiefe Ebene gelegten Körpers M, so zieht die auf M wirkende gesammte Schwerkraft (die Resultirende der auf alle Theilchen von M wirkenden Schwerkräfte), welche (nach 64) ihren Angriffspunkt in D hat,

und **Q** heißen soll, den Körper **M** nach der in die Vertikalebene **ABC** fallenden Richtung **Dx** abwärts. Stellt man die Schwerkraft **Q** (das Gewicht des Körpers **M**) der Größe nach durch die Linie **DE** vor und zerlegt sie (nach **56**) in 2 in die Vertikalebene **ABC** fallende Kräfte, wovon die eine (**R**) zu **AB** parallel und die andere (**S**) auf **AB** senkrecht wirkt, so stellt die Linie **FD** die Größe der Kraft **R** vor, die den Körper **M** auf der schiefen Ebene **AB** abwärts bewegt. Man nennt diese zur Länge der schiefen Ebene parallele Componente der Schwerkraft relative Schwere und findet aus dem rechtwinklichen Dreiecke **FDE** ihre Größe **FD = DE. sin. FED.** Für **DE** das Gewicht **Q** des Körpers **M** und für den Winkel **FED** den (wegen Aehnlichkeit der Dreiecke **FDE** und **ABC**, deren Seiten einander theils parallel, theils aufeinander senkrecht sind) ihm gleichen Neigungswinkel **BAC** und endlich für **FD**, **R** gesetzt, so erhält man

$$R = Q . \sin. BAC \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (43)$$

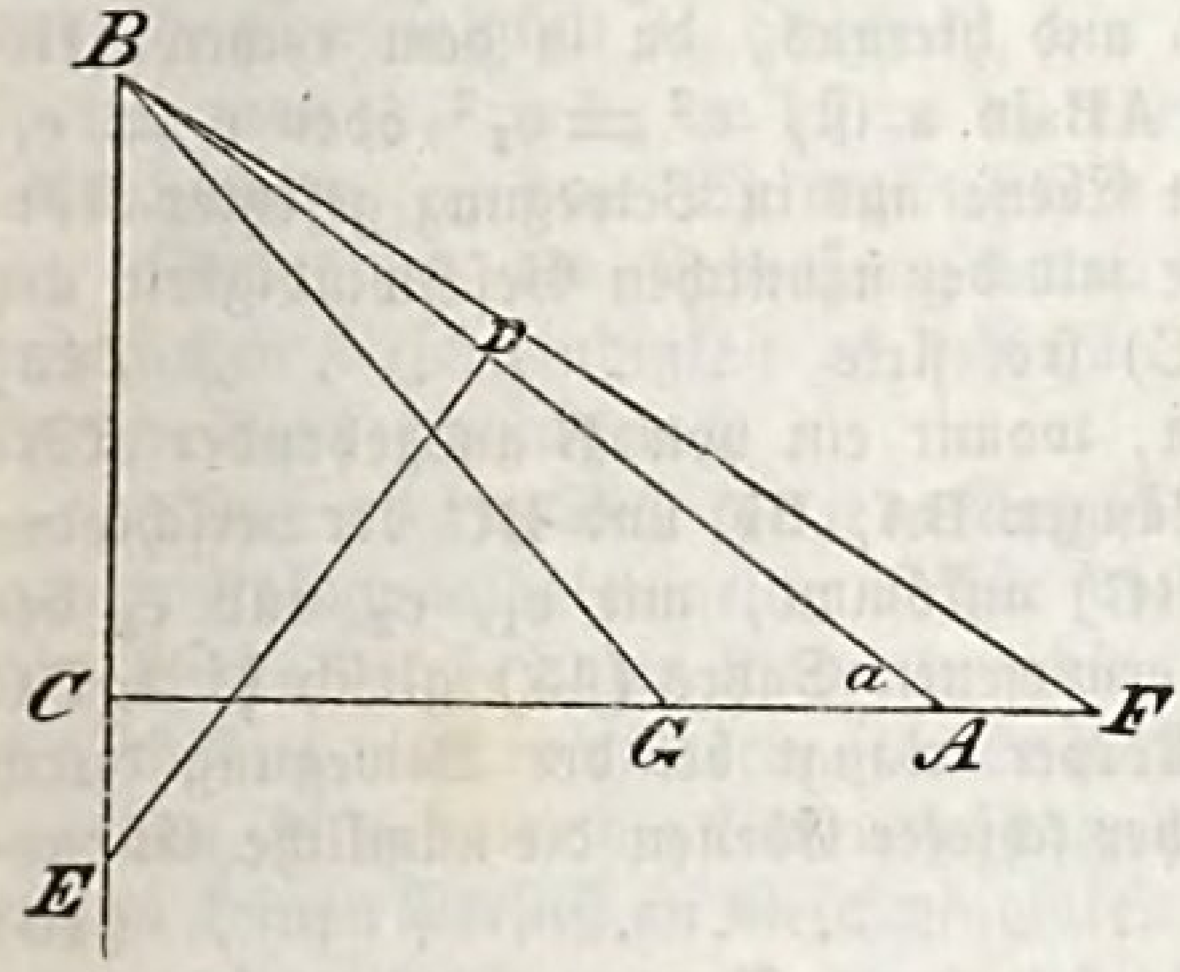
Aus dieser Gleichung folgt, daß die Kraft, welche einen Körper über eine schiefe Ebene hinabbewegt, desto größer sei, ein je größeres Gewicht der bewegte Körper hat und je größer der Neigungswinkel der schiefen Ebene, d. h. je steiler diese ist, und daß diese Kraft, welche als Theil (Componente) der Schwerkraft continuirlich wirkt, während der ganzen Bewegung über die schiefe Ebene constant bleibt, diese Bewegung also eine gleichförmig beschleunigte sei. Für die Bewegung (den Fall) der Körper über eine schiefe Ebene gelten daher zur Bestimmung des Weges, der Zeit und der Geschwindigkeit die nämlichen Formeln, wie für den freien Fall, nur muß in diesen Formeln: $c = gt$; $c = \sqrt{2gs}$; $s = \frac{gt^2}{2}$ und $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ anstatt der Acceleration g der gesammten auf das Bewegliche wirkenden Schwerkraft, (d. i. anstatt 31·03 Fuß) die Acceleration g_1 gesetzt werden, welche dem auf der schiefen Ebene als bewegende Kraft wirksamen Theil der gesammten Schwere, d. i. der relativen Schwere **R**, entspricht. Da bei gleichförmig beschleunigten Bewegungen einer und derselben Masse oder gleicher Massen sich (nach der in **51** enthaltenen Proportion $p : p_1 = mg : m_1 g_1$), die Accelerationen den bewegenden Kräften direct proportional sind, so hat man, — weil in Fig. 62 die Linie **DE** die Größe der gesammten, auf den Körper **M** wirkenden Schwerkraft, (die Kraft, die den Körper **M** frei nach x hin fallen machen würde, wenn die schiefe Ebene **AB** nicht im Wege wäre), vorstellt, die Linie **FD** aber die Größe jenes Theils der Schwerkraft **DE** repräsentirt, welche beim Fall über die schiefe Ebene als bewegende Kraft wirkt, — die Proportion $DE : DF = g : g_1$ und hieraus $g_1 = \frac{g . DF}{DE}$. Da in dem rechtwinklichen Dreieck **DEF** $DF : DE = \sin. DEF : 1$ und somit $\frac{DF}{DE} = \sin. DEF$ oder wegen der schon vorerwähnten Gleichheit der Winkel **DEF** und **BAC**, $\frac{DF}{DE} = \sin. BAC$ ist, so hat man $g_1 = g . \sin. BAC$, d. h. die Acceleration g_1 auf der schiefen Ebene ist gleich der Acceleration g im freien Fall multiplicirt mit dem Sinus des Neigungswinkels der schiefen Ebene, und man braucht in den oben angeführten Formeln für den freien Fall nur anstatt g, $g . \sin. BAC$ zu setzen, um diese Formeln in jene für den Fall über die schiefe Ebene **AB** umzuwandeln. Man hat daher zur Berechnung des Weges s_1, den ein Körper auf einer schiefen Ebene von irgend einem Neigungswinkel a in der t_1 zurücklegt, oder der Zeit t_1, die er zur Zurücklegung des Weges s_1 braucht, oder endlich der Geschwindigkeit c_1, die er nach Verlauf einer gewissen Zeit t_1 oder nach Zurücklegung eines gewissen Weges s_1

erlangt hat, die Gleichungen $s_1 = \frac{g t_1^2}{2} \sin.a$, $t_1 = \sqrt{\frac{2 s_1}{g \sin.a}}$, $c_1 = g t_1 \sin.a$ und $c_1 = \sqrt{2 s_1 g \sin.a}$. . . . . (44)

73. Nähere Betrachtung der Bewegung über schiefe Ebenen. Aus den unter (44) angeführten und den oben für den freien Fall aufgestellten Formeln ergibt sich sehr leicht die Lösung einiger Aufgaben, die an und für sich interessant, außerdem aber auch noch für eine folgende Untersuchung wichtig sind.

1. Aufgabe. Es ist der Weg x zu ermitteln, den ein Körper, vom Punkte B (Fig. 63) aus, längst der Höhe BC der schiefen Ebene AB von der Neigung a frei fallend, in der nämlichen Zeit T zurücklegen würde, in welcher er auf der schiefen Ebene selbst den Weg BD zurücklegt.

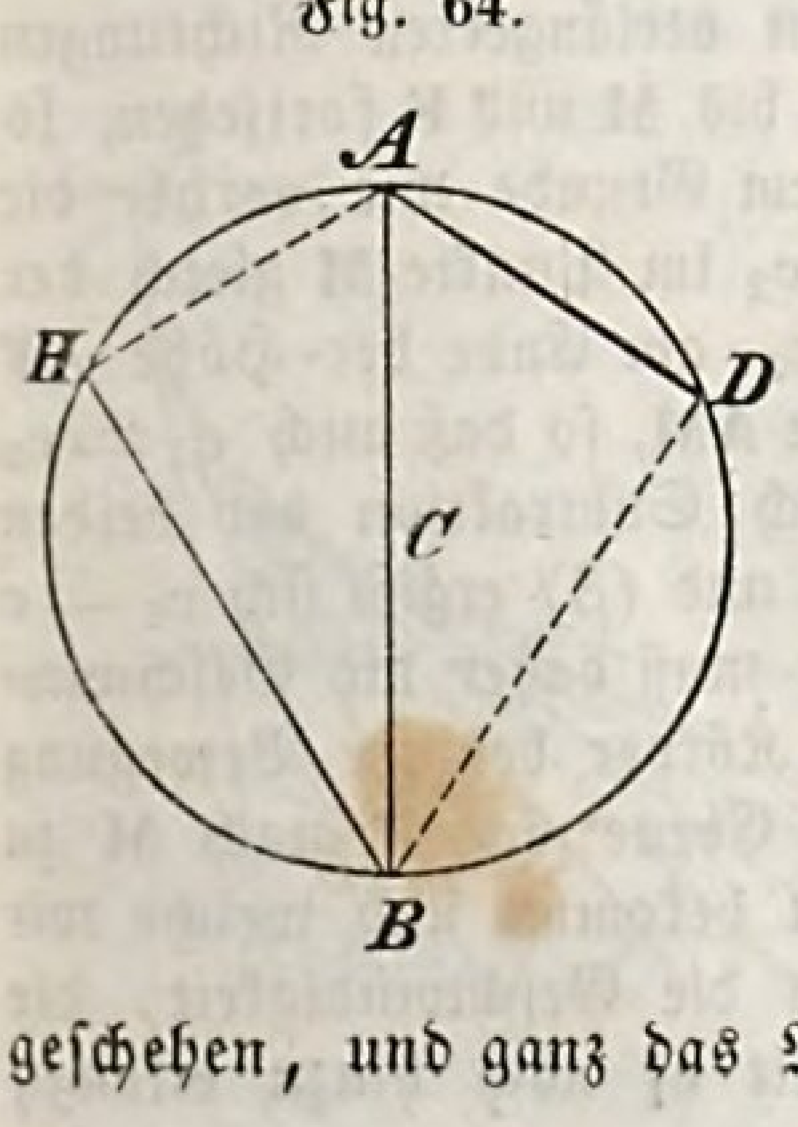
Fig. 63.



Auflösung. Nach der dritten der eben vorher ins Gedächtniß zurückgerufenen Formeln für den freien Fall ist der unbekannte Weg $x = \frac{gT^2}{2}$ und nach der ersten der Formeln (44) für die schiefe Ebene ist $BD = \frac{gT^2}{2} \sin.a$, mithin $BD = x \sin.a$ und $x = \frac{BD}{\sin.a}$ . . (†). Errichtet man im Punkte D eine in die Ebene ABC fallende, auf AB senkrechte Linie und verlängert sie, bis sie die (im Erforderungsfalle gleichfalls zu verlängernde Höhe BC der schiefen Ebene in einem Punkte E trifft, so ist in dem rechtwinklichten Dreiecke BDE, $BD : BE = \sin.BED : 1$ und hieraus $BE = \frac{BD}{\sin.BED}$ oder, da wegen Aehnlichkeit der beiden Dreiecke BDE und ABC (denn sie haben den Winkel bei B gemeinschaftlich und die Winkel BDE und BCA als rechte Winkel gleich) der Winkel BED = dem Neigungswinkel a ist, $BE = \frac{BD}{\sin.a}$ . . (††). Aus den Gleichungen (†) und (††) ergibt sich $x = BE$.

Hieraus folgt, daß wenn man durch die Endpunkte A oder B des vertikalen Durchmessers AB eines Kreises (Fig. 64) beliebige Sehnen, z. B. AD, BH u. s. w. zieht, diese (als schiefe Ebenen betrachtet) von einem schweren Körper alle in der nämlichen Zeit durchlaufen werden, in welcher derselbe frei fallend den Durchmesser AB zurücklegt. Denn verbindet man den Endpunkt D der Sehne AD durch eine gerade Linie mit B oder den Endpunkt H der Sehne BH mit A, so steht, da jeder Winkel im Halbkreise über dem Durchmesser ein rechter ist, BD ebenso senkrecht auf AD, wie in Fig. 63 ED auf BA senkrecht steht, und es läßt sich daher ganz auf dieselbe Art beweisen, daß ein von A aus in Bewegung gesetzter Körper in gleichen Zeiten den Durchmesser AB (im freien Falle) und die schiefe Ebene AD zurücklegt, wie dies oben für die Linien BE und BD geschehen, und ganz das Nämliche gilt auch für die Sehne BH und den Durch-

Fig. 64.



messer **AB**. Um dies leichter einzusehen, darf man sich nur die Fig. 64 umgekehrt, d. h. den Punkt **B** nach oben und **A** nach unten gebracht denken.

2. Aufgabe. Es soll das Verhältniß der Geschwindigkeiten bestimmt werden, mit welchen ein von **B** (Fig. 63) aus in Bewegung gesetzter Körper im freien Falle am Endpunkte **C** der Höhe und am Ende **A** der Länge der schiefen Ebene ankömmt.

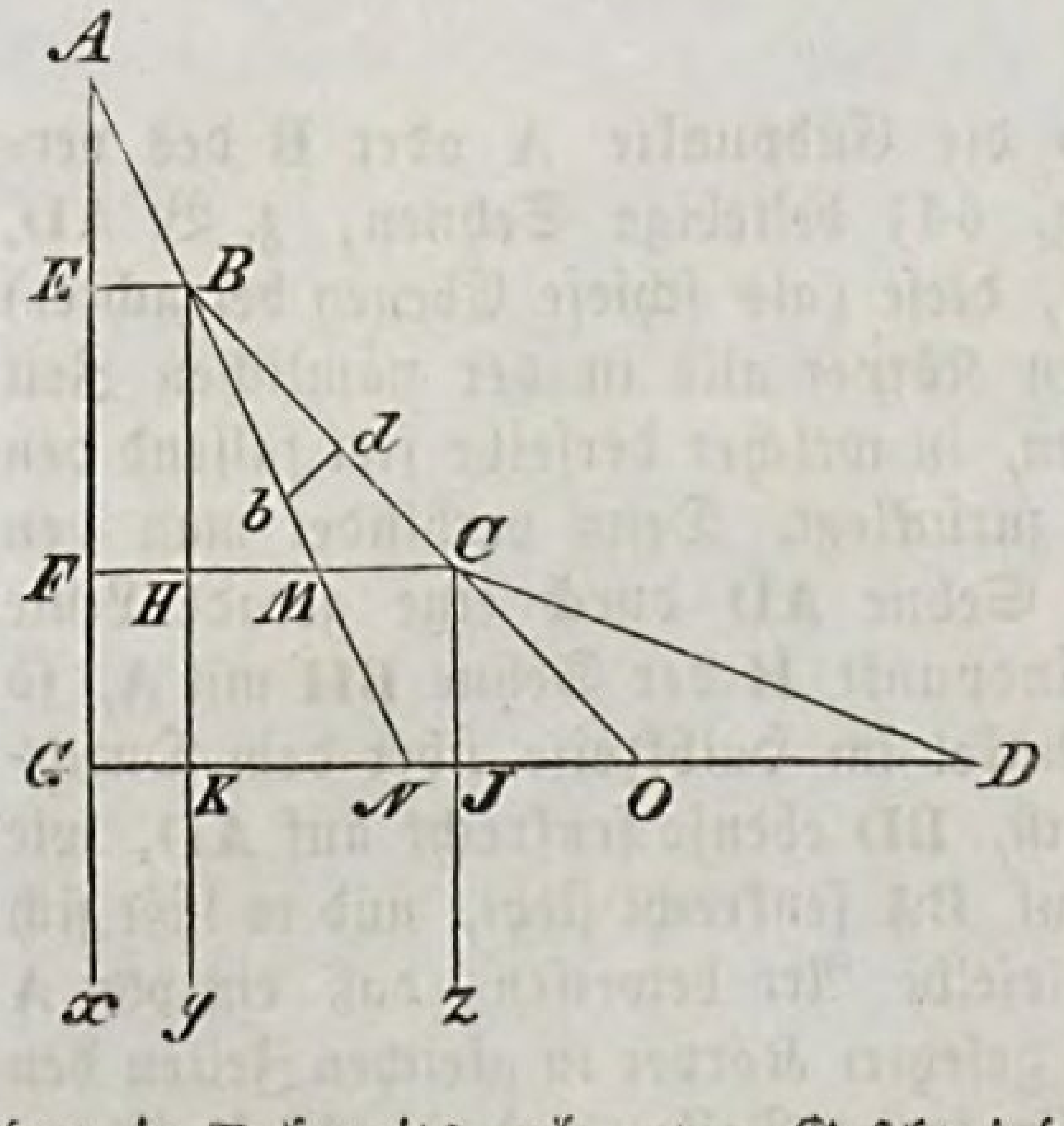
Auflösung. Nach Formel (30) S. 65 ist für den freien Fall durch den Weg **BC** die Endgeschwindigkeit $c = \sqrt{2gBC}$ und nach (44) S. 93 hat man für die Geschwindigkeit c_1 auf der schiefen Ebene am Ende des Weges **BA** die Gleichung $c_1 = \sqrt{2gAB \sin.a}$, es ist daher $c : c_1 = \sqrt{2gBC} : \sqrt{2gAB\sin.a}$ oder $c^2 : c_1{}^2 = 2gBC : 2gAB \sin.a$ und hieraus, da in dem rechtwinklichen Dreiecke **ABC** die Kathete $BC = AB\sin.a$ ist, $c^2 = c_1{}^2$ oder $c = c_1$. Ein vom höchsten Punkte (**B**) einer schiefen Ebene aus in Bewegung gesetzter Körper kömmt daher am Ende (**A**) ihrer Länge mit der nämlichen Geschwindigkeit an, als wenn er durch ihre Höhe (von **B** bis **C**) frei fiele . . . . (45)

Da, wenn man die Geschwindigkeiten, womit ein von **B** ausgehender Körper an den Endpunkten **A**, **F** und **G** der Längen **BA**, **BF** und **BG** der verschiedenen schiefen Ebenen von einerlei Höhe (**BC**) ankömmt, mit c_1, c_2 und c_3 bezeichnet, jede derselben zu Folge des eben erwiesenen Satzes (45) gleich $\sqrt{2gBC}$ ist, so hat man $c_1 = c_2 = c_3$, d. h. ein Körper erlangt bei der Bewegung durch die Längen ungleich langer, aber gleich hoher schiefer Ebenen die nämliche Endgeschwindigkeit . . . . (46)

3. Aufgabe. Es ist die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher ein Körper, der sich durch eine in derselben Vertikalebene gelegene Polygonallinie **ABCD** (Fig. 65) bewegt, am untersten Punkt **D** dieser Linie ankömmt, vorausgesetzt, daß er in den Ecken, d. i. an den Punkten **B** und **C** nichts von der bereits erlangten Geschwindigkeit verliert.

Auflösung. Zieht man von **A**, **B** und **C** nach unten die Vertikallinien **Ax**, **By** und **Cz**, und aus den Punkten **B**, **C** und **D**, die auf **Ax** und somit auch auf **By** und **Cz** senkrecht stehenden (horizontalen) Geraden **BE**, **CF** und **DG**, so stellen die Seiten **AB**, **BC** und **CD** der in Rede stehenden Polygonallinie die Längen schiefer Ebenen von den Höhen **AE**, **BH** und **CJ** vor. Zufolge des Satzes (45) hat der von **A** aus seine Bewegung beginnende Körper, am Endpunkte **B** der schiefen Ebene **AB** angelangt, eine Geschwindigkeit c, die eben so groß ist, als die Geschwindigkeit c_1, mit der er frei fallend in **E** ankömmt, so daß $c = c_1$ ist . . (α). Würde der Körper nun von **B** aus seine Bewegung nach den verlängerten Richtungen von **AB** und **AE** bis **M** und **F** fortsetzen, so wäre aus gleichem Grunde wie vorher die Geschwindigkeit c_2 im Punkte **M** gleich der Geschwindigkeit c_3 am Ende der Höhe **AF** der schiefen Ebene **AM**, so daß auch $c_2 = c_3$ ist . . (β). Durch Subtraktion der beiden Gleichungen (α) und (β) ergibt sich $c_2 - c = c_3 - c_1$. Es muß daher die Geschwindigkeit, die der Körper bei der Bewegung auf der schiefen Ebene von **B** nach **M** zu der in **B** bereits erlangten Geschwindigkeit **c** noch hinzu bekommt und welche wir der Kürze wegen **k** nennen wollen, eben so groß sein als die Geschwindigkeit, die er im freien Fall von **E** bis **F** zu der Geschwindigkeit c_1 noch hinzu erlangt,

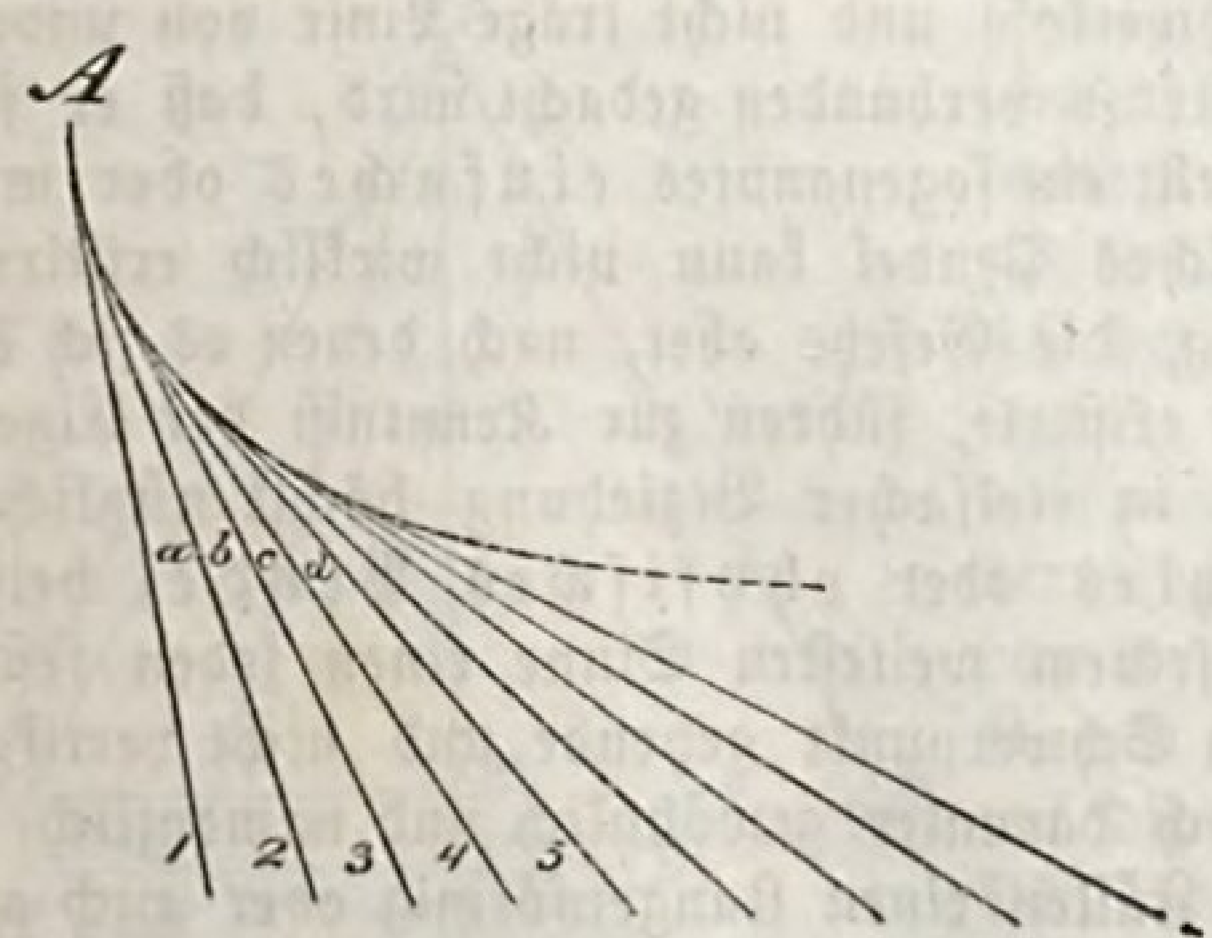
Fig. 65.



welche er schon in **E** besaß, so daß $c + k = c_1 + k$ ist. Die Geschwindigkeit k, welche auf dem Wege von **B** bis **M** erlangt wird, ist aber nach Satz (46) eben so groß als die Geschwindigkeit k_1, die auf der schiefen Ebene **BC** auf dem Wege von **B** bis **C** gewonnen wird, daher hat man auch $c + k_1 = c_1 + k$ . . (γ), d. h. der von **A** aus in Bewegung tretende Körper kömmt am untersten Punkte **C** der zwei schiefen Ebenen **AB** und **BC** mit der nämlichen Geschwindigkeit an, als wäre er durch ihre gemeinschaftliche Höhe **AF** frei gefallen. Da nun ganz auf die nämliche Art gezeigt werden kann, daß der Zuwachs (k_2) an Geschwindigkeit von **F** nach **G**, jenem (k_3) bei der Bewegung von **M** nach **N**, dieser wieder dem Geschwindigkeits-Zuwachse k_4 auf dem Wege von **C** nach **O** gleiche und k_4 endlich der Geschwindigkeit k_5 gleich ist, die auf dem Wege von **C** nach **D** erlangt wird, so hat man $k_2 = k_3 = k_4 = k_5$ oder $k_2 = k_5$ . . (δ) und durch Addition der Gleichungen (γ) und (δ) ergibt sich $c + k_1 + k_5 = c_1 + k + k_2$, d. h. der Körper kömmt bei der Bewegung durch die Bahn **ABCD** im Endpunkte **D** mit der nämlichen Geschwindigkeit an, als hätte er im freien Falle die Höhe **AG** dieser Polygonalbahn zurückgelegt . . . . (47)

Daß dieser Satz für jede Anzahl Seiten einer in derselben Vertikalebene gelegenen Polygonalbahn gelte, ist für sich klar. Auch läßt er sich leicht auf die Fälle, wo die Theile der besagten Bahn in verschiedene Vertikalebenen fallen, ausdehnen, was jedoch hier nicht in unserem Zwecke liegt. Immer aber gilt er, wie schon oben bemerkt worden, blos unter der Voraussetzung, daß der sich bewegende Körper in den Ecken der Bahn keinen Verlust an Geschwindigkeit erleide, was jedoch wie die folgende Betrachtung zeigen wird, nur in einer polygonalen Bahn, (und es soll hier wieder nur eine in der nämlichen Vertikalebene gelegene Bahn gemeint sein), bei welcher jedes geradlinige Stück mit der Verlängerung des nächst vorhergehenden einen unendlich kleinen Winkel einschließt, der Fall ist. Kömmt nämlich das Bewegliche z. B. im Punkte **B** (Fig. 65) an, so würde es, wenn die schiefe Ebene **BC** nicht da wäre, in der Richtung von **B** nach **M** seinen Weg mit einer Geschwindigkeit **v** fortsetzen, deren Größe durch die Linie **Bb** vorgestellt werden soll und sich (nach **56**) in zwei Componenten **bd** und **Bd** zerlegen läßt, wovon erstere auf der schiefen Ebene **BC** senkrecht steht und letztere ihr parallel ist. Die Componente **bd** wird durch den Widerstand der unbeweglich gedachten Ebene **BC** aufgehoben und es bleibt daher von der ursprünglichen Geschwindigkeit **v** nur der Theil **Bd** übrig, so daß der in **B** stattfindende Geschwindigkeitsverlust $= \mathbf{v} - \mathbf{Bd}$ ist. Da im rechtwinklichen Dreiecke **Bdb** die Kathete $\mathbf{Bd} = \mathbf{Bb} \cos. \mathbf{bBd} = \mathbf{v}. \cos. \mathbf{bBd}$ ist; so ist der Verlust $\mathbf{Bb} - \mathbf{Bd} = \mathbf{v} - \mathbf{v}\cos.\mathbf{bBd} = \mathbf{v}(1 - \cos.\ \mathbf{bBd})$, und nähert sich daher desto mehr dem Werthe Null, je mehr der cos.**bBd** sich der Einheit (dem Halbmesser) nähert, d. h. je kleiner der Winkel **bBd** wird. Sind daher bei einer Polygonalbahn **ABCD** . . ., (Fig. 65) die das Bewegliche durchläuft, die Winkel **NBO, OCD** u.s.f., unter welchen die schiefen Ebenen **AN, BO, CD**, als deren Stücke die Seiten der Polygonallinie angesehen werden können, zusammenstoßen, unendlich klein, so erleidet das Bewegliche in den Ecken dieser Bahn keinen Verlust an Geschwindigkeit.

Fig. 66.

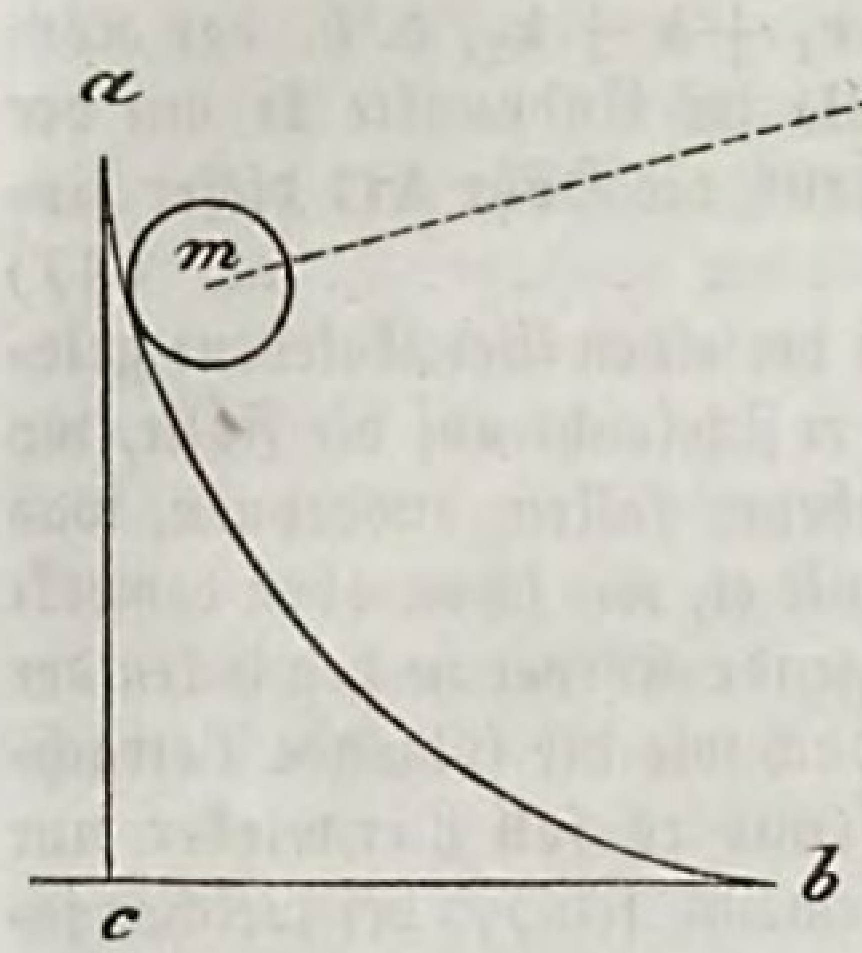


Als eine Polygonalbahn dieser Beschaffenheit kann man aber eine jede krumme Linie ansehen, indem (wie Fig. 66 anschaulich macht) die zu den einzelnen aufeinanderfolgenden

Punkten einer solchen Linie gezogenen Tangenten 1, 2, 3 . . . . als eben so viele unter unendlich kleinen Winkeln a, b, c . . . . zusammenstoßende schiefe Ebenen betrachtet werden können. Es steht demnach auch der Satz fest: Ein Körper erlangt bei der Bewegung durch eine in der nämlichen Vertikalebene gelegene stetig krumme Bahn und zwar ganz unabhängig von ihrer übrigen Natur und Beschaffenheit, dieselbe Geschwindigkeit, als wäre er durch die Höhe dieser Bahn, d. i. durch die Perpendikuläre gefallen, welche vom obersten Punkt der Bahn auf die von ihrem untersten Punkt aus in der Vertikalebene der Bahn gezogene Horizontale gefällt wird . . . . (48)

Stellt nun in Fig. 67 ab den senkrechten Durchschnitt einer in einer Vertikalebene liegenden kreisförmig gekrümmten Rinne vor, und man überläßt einen bei a in diese Rinne gelegten schweren Körper, z. B. eine Kugel m, sich selbst; so muß sie zu Folge der Schwere in einer bestimmten Zeit den Kreisbogen ab durchlaufen und wird, vorausgesetzt, daß die zwischen ihr und der Rinne stattfindende Reibung und der Widerstand, den die Luft ihr entgegensetzt, gering genug sind, um keinen störenden Einfluß zu üben, im Punkte b mit der Geschwindigkeit $c = \sqrt{2gac}$, d. h. als hätte sie im freien Fall den Weg ac zurückgelegt, anlangen.

Fig. 67.



An dieser Bewegung wird offenbar nichts geändert, wenn man sich das Bewegliche m, es mag dies ein Körper oder auch blos ein materieller Punkt sein, durch eine als nicht träge und nicht schwer gedachte Linie von unveränderlicher Länge (durch einen feinen, hinreichend festen Faden oder durch eine Stange, von deren Dehnbarkeit, Trägheit und Gewicht man abstrahirt), mit dem Mittelpunkte C des Kreises, wovon der Bogen ab ein Stück ausmacht, so verbunden denkt, daß es sich um diesen Punkt C frei bewegen kann. Das Bewegliche m wird auch jetzt noch die krumme Bahn ab durchlaufen und in b mit der Geschwindigkeit $c = \sqrt{2gac}$ anlangen, dieses aber sicherlich auch dann noch thun, wenn die Rinne ab, die, dem Beweglichen als Unterlage dienend, dasselbe nur verhindert, sich, bei dem Bestreben zu Boden zu fallen, während jener Bewegung vom Mittelpunkte C zu entfernen, beseitigt wird, indem durch die vorbesagte Verbindungsweise von m mit C auch ohne Rinne ab ganz das Nämliche geleistet wird. Hierauf beruht die nun folgende Pendelbewegung.

74. Begriff des Pendels. Ein schwerer, materieller Punkt, der in eben angegebener Weise durch eine schwerlose und nicht träge Linie von unveränderlicher Länge mit einem fixen Punkte so verbunden gedacht wird, daß er sich um diesen letzteren frei bewegen kann, stellt ein sogenanntes einfaches oder mathematisches Pendel dar. Ein solches Pendel kann nicht wirklich existiren, sondern ist nur ein bloßes Gedankending, die Gesetze aber, nach denen es sich bewegen müßte, wenn es in Wirklichkeit existirte, führen zur Kenntniß der Eigenschaften und der Bewegungsgesetze des in vielfacher Beziehung höchst nützlichen Apparates, welcher zusammengesetztes oder physisches Pendel heißt. Man bezeichnet mit diesem Worte in seinem weitesten Sinne einen jeden festen Körper, der um eine nicht durch seinen Schwerpunkt gehende und nicht vertikale Axe bewegt werden kann; versteht jedoch darunter gewöhnlich und namentlich in den meisten für den Techniker wichtigen Fällen einen stangenförmig oder auch anders gestalteten festen Körper, der um eine, nicht durch seinen Schwerpunkt ge-

hende horizontale Axe beweglich ist, und diesen Begriff wollen auch wir mit dem Ausdrucke „physisches Pendel" in der Folge immer verbinden.

75. Natur der Bewegung eines einfachen Pendels. Ist A (Fig. 68) ein schwerer materieller Punkt, AC eine nicht schwere und nicht träge (zur Bewegung keine Kraft erfordernde) und in der Länge unveränderliche Linie, welche A mit dem fixen Punkte C so verbindet, daß ersterer um letzteren sich frei bewegen kann; so stellt das Ganze ein einfaches Pendel und die Länge der Linie AC dessen Länge vor. Denkt man sich ein solches Pendel existirend, so müßte es, sich selbst überlassen, (nach **68**) stets in vertikaler Richtung hängen. Würde dasselbe durch irgend eine Kraft aus der Vertikalrichtung AC in eine andere Lage AB um einen Winkel ACB herausgebracht, welcher die Elongation des Pendels heißt, so müßte es durch die auf den schweren Punkt in B wirkende Schwerkraft wieder in die ursprüngliche Richtung AC zurückgeführt werden. Denn denkt man sich diese Kraft Q, die den Punkt B in der vertikalen Richtung Bx abwärts zieht und der Größe nach durch die Linie BD vorgestellt werden soll, in zwei Componenten zerlegt, wovon die eine in die verlängerte Richtung der Linie CB fällt und die andere auf CB senkrecht steht, so wird die erstere Componente BE durch den Widerstand, den die nicht dehnbare Linie CB und der fixe Punkt C leisten, aufgehoben, die Componente BF aber, welche tangentiell zu dem Kreisbogen wirkt, den der schwere Punkt bei der Bewegung des Pendels aus der Richtung von CA in die Lage CB durchlaufen hat, sucht mit ihrer ganzen Intensität (die R heißen soll), diesen Punkt von B gegen A hin zu bewegen. Da, wegen der Rechtwinklichkeit des Dreieckes BFD, BF = BD sin.BDF und wegen Gleichheit der Winkel BDF und EBD (als Wechselwinkel, ferner der Winkel EBD und BCA, (denn sie sind ein äußerer und innerer Winkel an derselben Seite der, die zwei parallelen Linien CA und Bx schneidenden Geraden CE) der Winkel BDF = ist dem Elongationswinkel BCA; so hat man die Größe der das Pendel gegen die Lage CA hin bewegenden Kraft BF oder R = Q.sin.BCA. Diese Kraft ist als Theil der fortwährend wirksamen Schwere Q eine continuirlich wirkende, aber (da ihr Werth mit dem Winkel BCA, der in dem Maße kleiner wird, als sich das Pendel seiner ursprünglichen vertikalen Richtung AC nähert, abnimmt), eine veränderliche Kraft; mithin die Bewegung des Pendels aus der Lage CB gegen die Lage CA hin (nach **49**) eine ungleichförmig beschleunigte.

Fig. 68.

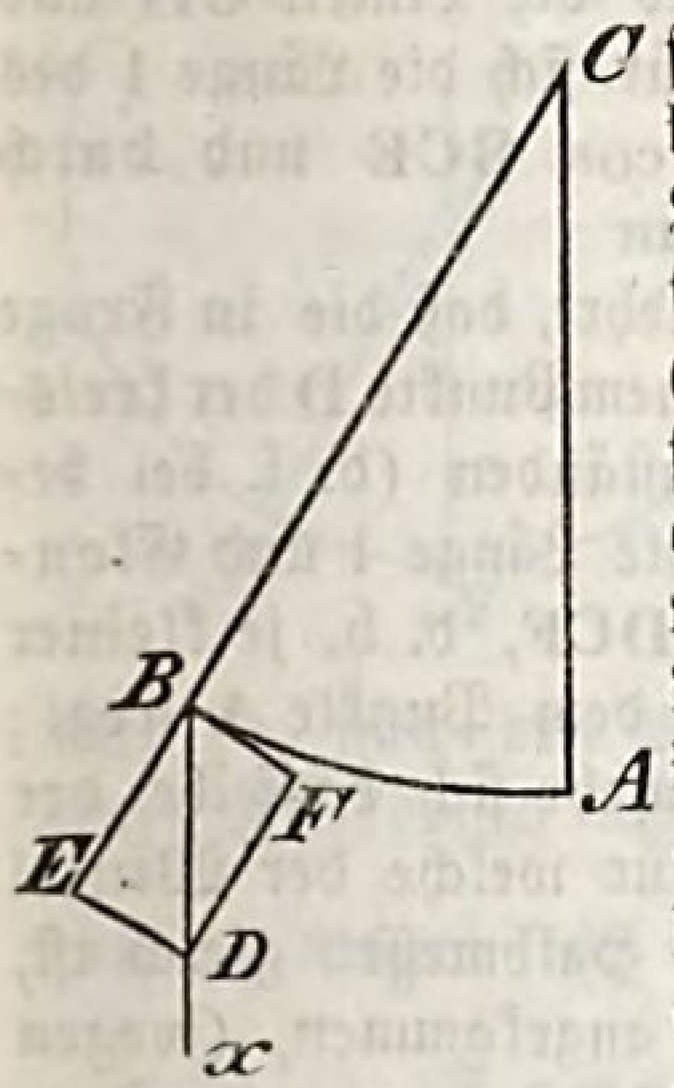
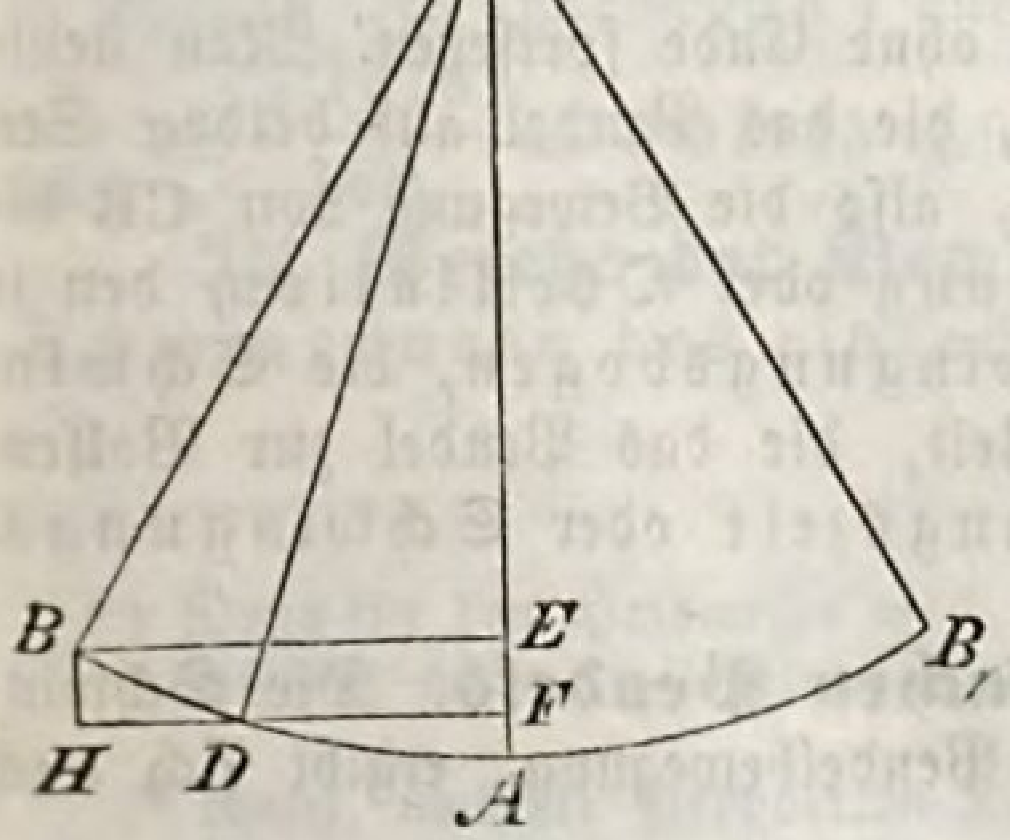


Fig. 69.



Zum Behufe näherer Erörterung der Gesetzmäßigkeit dieser Bewegung soll nun die Geschwindigkeit c bestimmt werden, womit der schwere Punkt B (Fig. 69) eines um den Elongationswinkel BAC aus der vertikalen Richtung AC herausgebrachten mathematischen Pendels in irgend einem Punkte D des Kreisbogens BA ankömmt, in welchem er, da kein Grund, aus der Ebene BCA herauszutreten, vorhanden ist, von B nach A zurückkehrt. Zieht man von B und D auf AC die Senkrechten BE und DF und auf die über den Punkt D hinaus verlängerte DF das Perpendikel BH, so stellt dieses die Höhe der krummen Bahn BD vor, welche der

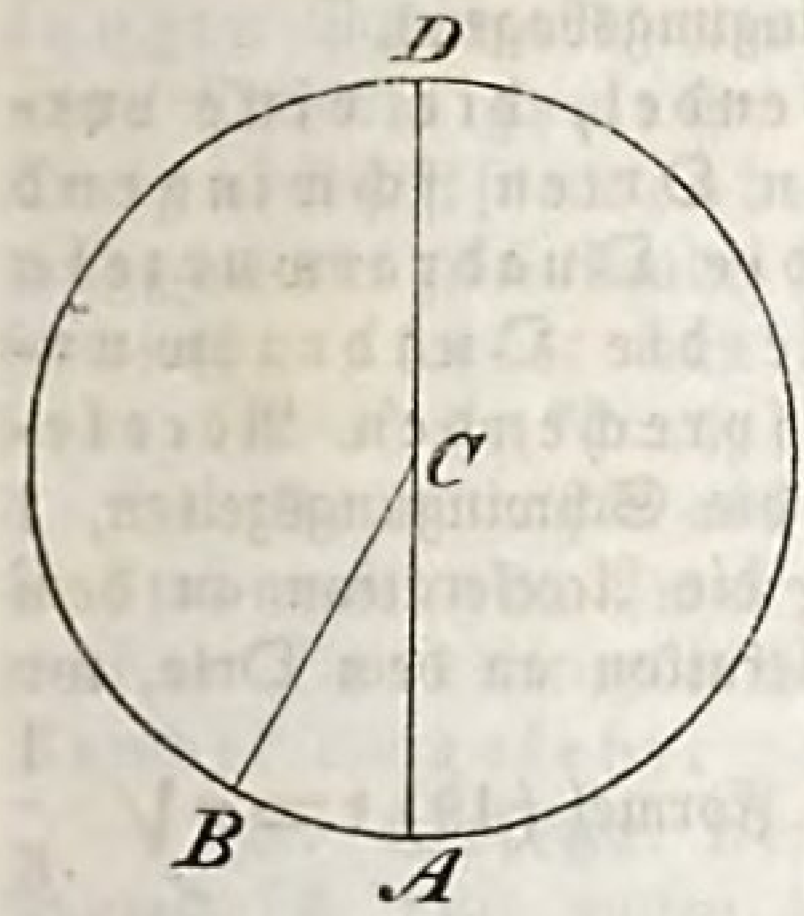
schwere Punkt des Pendels durchläuft und die Geschwindigkeit c, mit welcher derselbe am Endpunkte **D** dieser Bahn ankömmt, ist nach Satz (48) eben so groß, als wäre er durch ihre Höhe **BH** frei gefallen. Man hat somit $c = \sqrt{2gBH}$ .... (a) Es ist aber **BH** = **EF** (nach der Natur des Parallelogramms **BEFH**); ferner **EF** = **CF** — **CE** und, da wegen der Rechtwinklichkeit der Dreiecke **DCF** und **BCE**, **CF** = **CD** cos. **DCF** und **CE** = **CB** cos. **BCE** ist, überdies die Linien **CD** und **CB** als Halbmesser desselben Kreises gleich sind und jede für sich die Länge l des Pendels vorstellt; so folgt **BH** = **EF** = l. cos. **DCF** — l. cos. **BCE** und durch Substitution dieses Werthes in die Gleichung (a) erhält man
$c = \sqrt{2gl. (\cos.DCF - \cos.BCE)}$ .... (b). Diese Formel lehrt, daß die in Frage stehende Geschwindigkeit c, mit welcher das Pendel in irgend einem Punkte **D** der kreisförmigen Bahn **BA** ankömmt, unter übrigens gleichen Umständen (d. i. bei bestimmten Werthen für die Acceleration der Schwere g, für die Länge l und Elongation **BCA** des Pendels), desto größer sei, je größer cos. **DCF**, d. h. je kleiner der Winkel **DCF** ist oder je näher der betreffende Punkt **D** dem Punkte **A** liegt; daß somit die Geschwindigkeit des Pendels zunimmt, je mehr sich dasselbe der vertikalen Richtung **AC** nähert und in der Lage **AC** selbst, für welche der Winkel **DCF** = o, mithin der cos. **DCF** am größten, nämlich dem Halbmesser gleich ist, ihren größten Werth habe. Das Pendel kann daher, in **AC** angekommen, (wegen der in dieser Lage ihm eigenen, größten Geschwindigkeit) daselbst weniger ruhen, als in irgend einer andern Lage zwischen **BC** und **AC**, sondern muß in Folge der Trägheit seine Bewegung über **AC** hinaus fortsetzen, so daß der Winkel **DCF** negativ wird und der schwere Punkt des Pendels im Kreisbogen AB_1 aufwärts steigt. Dies Aufwärtssteigen muß so lange fortdauern, bis der schwere Punkt des Pendels die Geschwindigkeit, mit der er an der tiefsten Stelle **A** seiner Bahn angekommen ist, durch die Wirkung der das Pendel immer mit mehr Stärke in die Lage **AC** zurückziehenden Schwerkraft verloren hat, d. h. bis c = Null geworden ist, so daß die Gleichung besteht $o = \sqrt{2gl (\cos.DCF - \cos.BCE)}$ .... (d), was, vorausgesetzt, daß von allen Hindernissen der Bewegung (Reibung am Punkte **C** und Luftwiderstand) abgesehen werde, dann der Fall sein wird, wenn der beim allmäligen Aufsteigen des Pendels im Bogen AB_1 immer wachsende negative Werth des Winkels **DCF** die numerische Größe des Winkels **BCE** erreicht hat, d. h. das Pendel von **A** aus in der Richtung nach B_1 hin eben so weit (bis CB_1) gestiegen ist, als es aus der Lage **CB** (bis **AC**) gefallen war, so daß $BA = AB_1$ ist. Denn da zu Winkeln gleicher Größe im 1. und 4. Quadranten, (wovon die ersteren mit +, die letzteren mit — bezeichnet werden), ein und derselbe Cosinus gehört, so ist, wenn der negative Winkel **DCF** an numerischer Größe dem Winkel **BCE** gleicht, $\cos.(-DCF) = \cos.DCF = \cos.BCE$, mithin der Faktor $\cos.DCF - \cos.BCE$ in der Gleichung (b) = o, daher auch c = o.

Ist so das Pendel in der Lage CB_1 angelangt, so muß es von da, aus den nämlichen Gründen, aus welchen es von **CB** nach CB_1 ging, wieder nach **CB** zurückkehren und diese Bewegung hin und her ohne Ende fortsetzen. Man nennt die Bewegung von der einen der höchsten Lagen, die das Pendel auf beiden Seiten seiner vertikalen Lage erreicht, zur andern, also die Bewegung von **CB** bis CB_1 oder von CB_1 nach **CB** eine Schwingung oder Oscillation, den in Graden ausgedrückten Bogen BAB_1 den Schwingungsbogen, die Schwingungsweite oder Amplitude, und die Zeit, die das Pendel zur Vollendung einer Schwingung braucht, Schwingungszeit oder Schwingungsdauer des Pendels.

76. Schwingungszeit eines einfachen Pendels. Die Schwingungsdauer t, dieses wichtigste Element der Pendelbewegung, ergibt sich nach dem Vorhergehenden auf folgende Weise.

Stellt **CA** (Fig. 70) die Länge l eines einfachen Pendels vor, und ist **ABD** ein um den Drehpunkt **C** des Pendels mit dem Halbmesser **AC** beschriebener Kreis, man bringt das Pendel in die Lage **CB** und überläßt es hierauf sich selbst, so würde es, wenn dessen schwerer Punkt von **B** auf der, eine schiefe Ebene darstellenden Sehne des Bogens **BA** nach **A** zurückkehrte, bis zur Ankunft in der Lage **CA** eine Zeit t_1 brauchen, die eben so groß ist als die Zeit, in welcher er frei fallend den Durchmesser $DA = 2AC = 2l$ zurücklegt, (**73**) so daß, nach Formel (28) S. 65, $t_1 = \sqrt{\frac{2 . 2l}{g}} = 2\sqrt{\frac{l}{g}}$ wäre. Da nun aber der besagte schwere Punkt in Wirklichkeit nicht durch die Sehne des Bogens **BA**, sondern durch diesen Bogen selbst fällt, und da, nach den Lehren der höhern Mechanik, die Zeiten t und t_1 eines durch einen Kreisbogen und eines durch dessen Sehne fallenden Körpers, vorausgesetzt, daß der Bogen sehr klein sei, sich wie $\frac{\pi}{2} : 2$ verhalten, also $t : t_1 = \pi : 4$, somit $= t = \frac{\pi}{4} t_1$ ist, (wo π die bekannte Verhältnißzahl zwischen Umfang und Durchmesser eines Kreises, d. i. die Zahl 3·141592 . . . bedeutet), so ergibt sich für die Zeit t, nach welcher das mathematische Pendel aus der schiefen Lage **BC** in der vertikalen **AC** anlangt, unter Voraussetzung, daß der Bogen **BA** sehr klein sei, die Gleichung $t = \frac{\pi}{4} . 2\sqrt{\frac{l}{g}}$. Da ferner, wie vorher gezeigt worden, das in der Lage **CA** angekommene Pendel daselbst nicht ruhen kann, sondern über diese Lage hinaus seine Bewegung so lange fortsetzen muß, bis dessen in der Fortsetzung des Kreisbogens **BA** aufsteigender schwere Punkt in Folge Gegenwirkung der Schwerkraft die ganze während des Falles durch den Bogen **BA** erlangte Geschwindigkeit wieder verloren hat, und hierzu offenbar eine eben so große Zeit wie zum Herabfallen durch den Bogen **BA** erforderlich ist, so wird die Zeit, in welcher das Pendel eine ganze Schwingung vollendet d. i. dessen Schwingungsdauer oder Schwingungszeit $t = 2 . \frac{\pi}{4} . 2\sqrt{\frac{l}{g}} = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ sein . (49)

Fig. 70.



Diese Formel gilt aber nur unter der Voraussetzung, daß der Elongationswinkel **ACB** sehr klein sei; ist dies nicht der Fall, so gibt sie die Schwingungszeit etwas zu klein. Genauer erhält man dann die Zeit t nach der durch höhere Rechnung erweisbaren Formel $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1 + \frac{a^2}{16}\right)$, wo a den Elongationswinkel, in Theilen des Halbmessers 1 ausgedrückt, (d. h. für jeden Grad der Elongation $\frac{\pi}{180} = \frac{3·1416}{180} = 0·01745$ gesetzt *), bedeutet.

77. Gesetze der Bewegung eines einfachen Pendels. 1. Die Schwingungen des einfachen Pendels in kleinen (4° nicht erreichen-

*) Denn für den Halbmesser = 1 ist der Umfang des Kreises $2\pi = 2 . 3·1416$; man hat mithin, wenn e die Elongation und a ihren Werth in Theilen des Halbmessers 1 bedeutet, nach der Proportion $a : 2 . 3·1416 = e : 360$, $a = \frac{e . 2 . 3·1416}{360} = e\frac{3·1416}{180}$

den) Schwingungsbögen sind isochronisch, d. h. erfolgen alle in gleichen Zeiten: denn nach Formel (49) ist für solche Schwingungsbögen die Schwingungszeit t unabhängig von der Größe des Schwingungsbogens.

2. Die Schwingungszeiten einfacher Pendel, die eine verschiedene Länge haben und an verschiedenen Orten schwingend gedacht werden, verhalten sich direkt wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen und umgekehrt, wie die Quadratwurzeln aus den, den verschiedenen Orten entsprechenden Accelerationen der Schwere. Denn bezeichnen t und t_1 die Schwingungszeiten, l und l_1 die Längen zweier einfacher Pendel, ist ferner g die Acceleration an dem Orte, wo das Pendel von der Länge l und g_1 die Acceleration an dem Orte, wo das Pendel von der Länge l_1 schwingt, so hat man nach Formel (49) $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ und $t_1 = \pi \sqrt{\frac{l_1}{g_1}}$, mithin $t : t_1 = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l_1}{g_1}}$ . . . . (50)

3. Schwingen beide Pendel an einem und demselben Orte, für welchen Fall $g = g_1$ ist, so folgt aus (50) $t : t_1 = \sqrt{l} : \sqrt{l_1}$, d. h. für zwei an dem nämlichen Orte schwingende einfache Pendel verhalten sich die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.

4. Denkt man sich hingegen ein und dasselbe Pendel oder zwei Pendel derselben Länge, an verschiedenen Orten schwingend, so geht, weil für beide Fälle $l = l_1$ zu setzen ist, die Proportion (50) in $t : t_1 = \frac{1}{\sqrt{g}} : \frac{1}{\sqrt{g_1}}$ oder $t : t_1 = \sqrt{g_1} : \sqrt{g}$ über, d. h. es verhalten sich dann die Schwingungszeiten wie umgekehrt die Quadratwurzeln aus den Accelerationen der Schwere an den Orten, wo die Pendel schwingen.

5. Bezeichnen, wie vorhin, l und l_1 die Längen zweier Pendel, g und g_1 die Accelerationen an den Orten, wo sie schwingen, ferner t und t_1 ihre Schwingungszeiten, d. h. braucht das eine Pendel zu einer Schwingung die Zeit t und das andere die Zeit t_1, so wird das erstere zu n Schwingungen eine Zeit $\mathbf{T} = \mathbf{n t}$ . . (a) benöthigen und das zweite Pendel wird in der nämlichen Zeit $\mathbf{T}$ eine andere Schwingungsanzahl $n_1 = \frac{T}{t_1}$ . . . (b) machen. Aus der Gleichung (b) folgt $\mathbf{T} = n_1 t_1$ . . (c), die Gleichungen (a) und (c) geben $nt = n_1 t_1$, und hieraus folgt
$n : n_1 = t_1 : t$ . . . . (51),
d. h. die Zahlen (n und n_1), welche anzeigen, wie viele Schwingungen jedes von zwei verschiedenen einfachen Pendeln in der nämlichen Zeit (T) machen, verhalten sich umgekehrt wie die Schwingungszeiten dieser Pendel.

6. Setzt man in der Proportion (51) statt den Schwingungszeiten t_1 und t die denselben gemäß (49) gleichen Ausdrücke $\pi \sqrt{\frac{l_1}{g_1}}$ und $\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, so erhält man

$n : n_1 = \sqrt{\frac{l_1}{g_1}} : \sqrt{\frac{l}{g}}$ oder $n^2 : n_1^2 = \frac{l_1}{g_1} : \frac{l}{g}$ . . . . (52)

Angenommen nun, die zwei einfachen, an verschiedenen Orten schwingenden Pendel hätten gleiche Längen, d. h. es sei $l = l_1$, oder was ganz das Nämliche ist, ein und dasselbe einfache Pendel schwinge an verschiedenen Orten, so verwandelt sich die Proportion (52) in $n^2 : n_1^2 = \frac{1}{g_1} : \frac{1}{g}$ oder $n^2 : n_1^2 = g : g_1$, d. h.

die Quadrate der Zahlen, welche anzeigen, wie viele Schwingungen von einem und demselben Pendel (oder von zwei gleich langen Pendeln) im Verlauf der nämlichen Zeit an verschiedenen Orten gemacht werden, verhalten sich wie die an diesen Orten stattfindenden Accelerationen der Schwere. Denkt man sich hingegen die zwei Pendel von den Längen l_1 und l an einem und demselben Orte schwingend, so hat man nach Proportion (52), da für diesen Fall $g = g_1$ zu setzen ist, $n^2 : n_1^2 = l_1 : l$ . . . . (53) d. h. die Quadrate der Zahlen, welche anzeigen, wie viele Schwingungen zwei ungleich lange Pendel an einem und demselben Orte in gleichen Zeiten vollbringen, sind den Längen der Pendel umgekehrt proportional.

78. Gesetze der Schwingungen eines zusammengesetzten Pendels. Wir wissen bereits aus (**74**), daß einfache Pendel in Wirklichkeit nicht existiren, daß aber die Gesetze, nach welchen sie sich bewegen müßten, wenn sie existirten, zur Kenntniß der Bewegungsgesetze zusammengesetzter oder physischer Pendel führen. Wie, soll im Folgenden gezeigt werden. Wird ein zusammengesetztes Pendel, d. i. nach (**74**) jeder feste Körper, der sich um eine nicht durch seinen Schwerpunkt gehende horizontale Axe leicht drehen kann, also z. B. die Stange **AB** (Figur 71), welche in **D** ihren Schwerpunkt und in **A** eine horizontale Umdrehungsaxe hat, aus der Ruhelage **AB** (wo nach (**65**) der Schwerpunkt **D** vertikal unter der Drehaxe **A** liegt) um die Axe **A** in die schiefe Lage **AB₁** gedreht; so muß dieselbe, da der Schwerpunkt jetzt (in D_1) nicht unterstützt ist, in die vorige Lage **AB** zurückkehren, kann aber daselbst nicht in Ruhe bleiben, sondern muß sich, — da jeder ihrer außer **A** gelegenen Punkte in dieser Lage **AB** mit einer gewissen Geschwindigkeit ankömmt und vermöge der Trägheit seine Bewegung so lange fortzusetzen genöthigt ist, bis er die erlangte Geschwindigkeit durch die Gegenwirkung der Schwere wieder verloren hat, — auf der andern Seite bis zu einer gewissen Höhe AB_{11} erheben. Die nämliche Ursache, welche das Pendel von AB_1 nach **AB** trieb, wird dasselbe nun aus der Lage AB_{11} in die Lage **AB** zurück und über **AB** hinaus gegen AB_1 hin, hierauf wieder von AB_1 gegen AB_{11} hin u. s. f. bewegen. Hätte das Pendel bei dieser Bewegung nicht die Reibung an der Drehungsaxe **A** und den Widerstand der Luft, die es durchschneiden muß, zu überwinden, so müßte es, aus den beim einfachen Pendel angeführten Gründen, über **AB** hinaus eben so hoch steigen, als es von AB_1 (bis **AB**) gefallen ist; aus der Lage AB_{11} müßte es sich genau wieder in die Lage AB_1, von hier wieder in die Lage AB_{11} bewegen u. s. f.; das Pendel müßte daher fortwährend und in immer gleichen Schwingungsbögen (von der Größe $B_1\,B_{11}$) schwingen. Da jedoch die genannten Hindernisse (Reibung und Luftwiderstand) von der das Pendel bewegenden Kraft nach und nach immer mehr verzehren, so werden die Schwingungsbögen allmälig immer kleiner werden und das Pendel kömmt endlich nach einer gewissen Anzahl Schwingungen in der vertikalen Lage **AB** wieder zur Ruhe. Dies wird natürlich um so später geschehen, und die Schwingungsbögen werden in einer und derselben Zeit um so weniger abnehmen, je geringer die genannten Hindernisse sind. Man gibt deswegen den zusammengesetzten Pendeln, von welchen man in der Anwendung meistens verlangt, daß sie lange und mit möglichst geringer Abnahme der Schwingungsbögen schwingen, gewöhnlich die Gestalt einer dünnen Stange, **AC** (Fig. 72) die sich

Fig. 71.

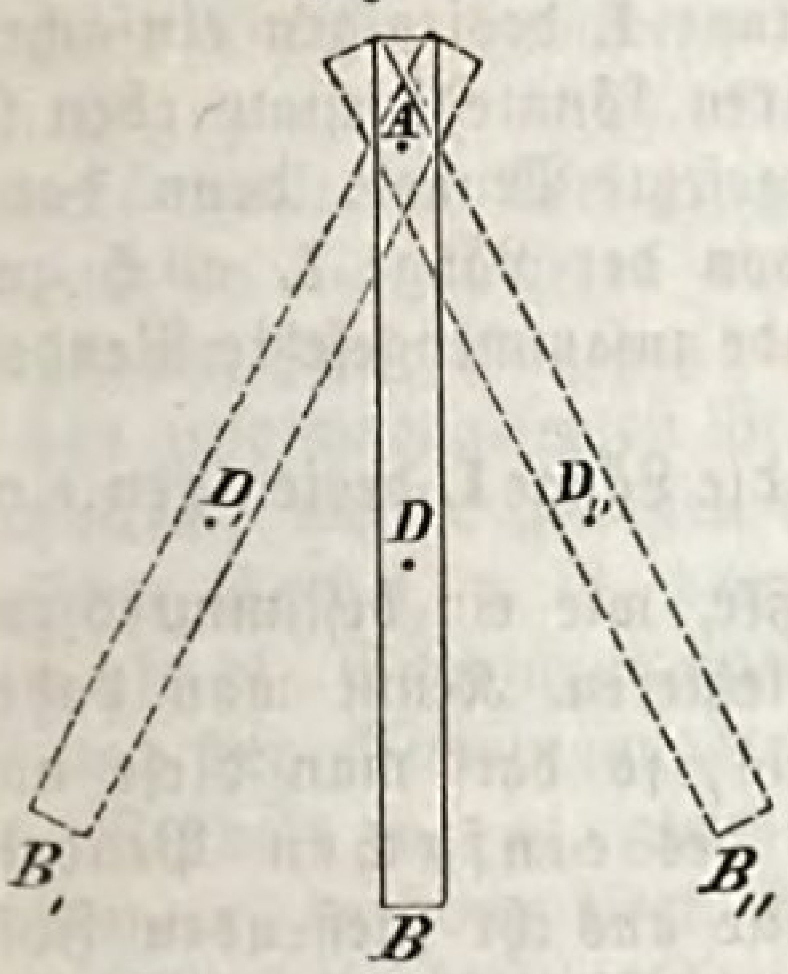
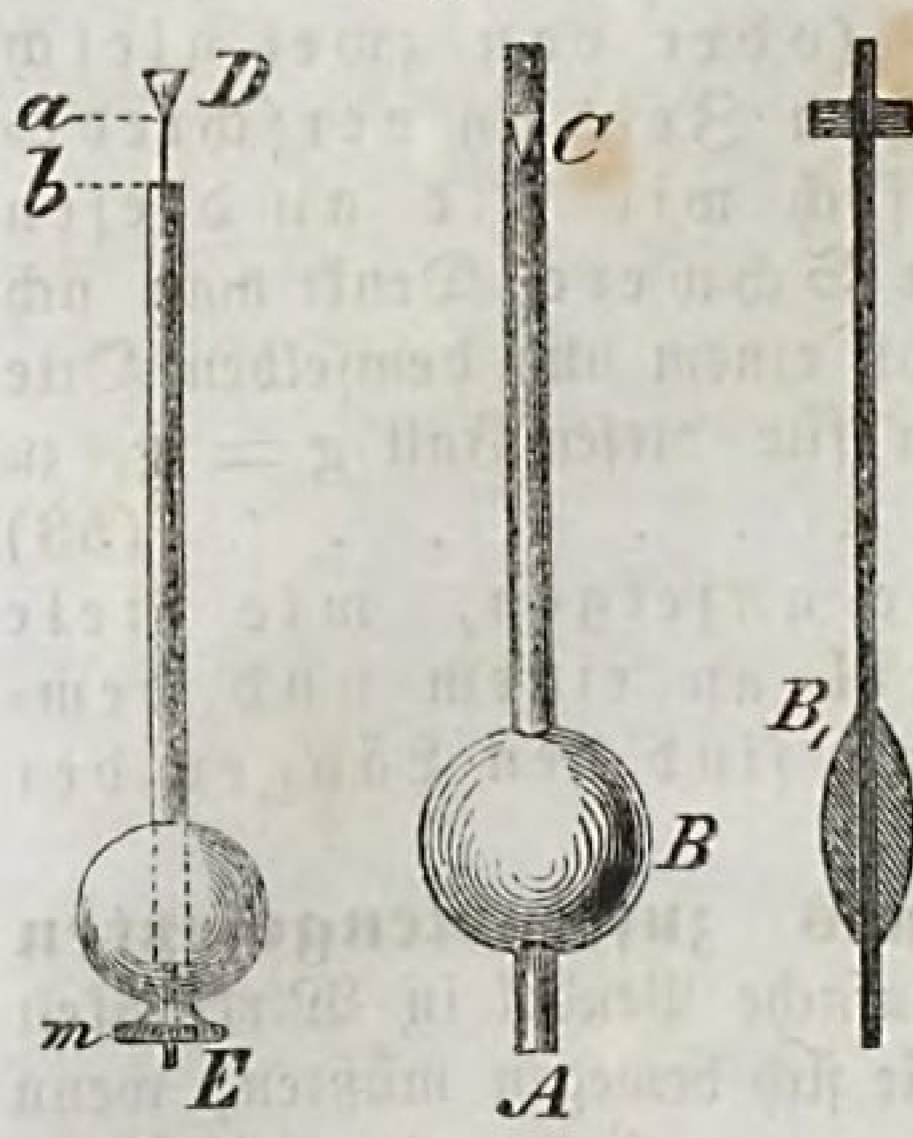


Fig. 72.



um eine harte, scharfe, auf einer harten und polirten Unterlage ruhenden Schneide C dreht, oder mit ihrem obern Ende an einem geradlinigen dünnen, sehr biegsamen Stücke ab einer Uhrfeder oder eines federnden Messingstreifens aufgehängt ist, und welche eine schwere linsenförmige Masse B (bei B_1 sieht man diese Masse im gegen die Frontansicht senkrechten Durchschnitt) trägt, die ihres größeren Gewichtes und der Zuschärfung an ihrem Umfange wegen die Luft leichter durchschneidet. Die Aufhängung an dem federnden Streifen ab ist in der Figur an dem Pendel DE anschaulich gemacht. Die Fläche des Streifens ab hat man sich senkrecht gegen die Ebene zu denken, in welcher das Pendel schwingt und eine auf dieser Ebene lothrechte, durch den Aufhängepunkt a gehende Gerade bildet die Drehungsaxe des Pendels.

Alle Anwendungen, die von dem zusammengesetzten Pendel gemacht und die wir bald näher besprechen werden, gründen sich zuletzt auf die Kenntniß der Schwingungszeit desselben (die Zeit, in welcher es eine Schwingung macht), und es ist vor Allem wichtig, für diese Zeit einen Ausdruck aufzustellen. Ein solcher ergäbe sich sogleich, wenn man im Stande wäre, die Länge L desjenigen einfachen Pendels ausfindig zu machen, welches, (wenn es existiren könnte) genau eben so schnell schwingen müßte, wie das betreffende zusammengesetzte Pendel: denn dann wäre die Schwingungszeit für dieses einfache Pendel von der Länge L auch zugleich die Schwingungszeit (T) für das in Frage stehende zusammengesetzte Pendel, so daß man, nach (49), $T = \pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ hätte. Man nennt die Länge L desjenigen einfachen Pendels, welches genau so schnell schwingen müßte, wie ein bestimmtes zusammengesetztes Pendel, die reducirte Länge dieses letzteren. Kennt man daher die reducirte Länge L eines zusammengesetzten Pendels, so darf man diese nur als Pendellänge in die vorn für die Schwingungszeit des einfachen Pendels erwiesene Formel einführen, und diese Formel so wie alle aus ihr fließenden Folgerungen gelten dann für das betreffende zusammengesetzte Pendel und gewähren, wie die Folge lehren wird, mehrfachen Nutzen . . . . (54)

79. Bestimmung der reducirten Länge eines zusammengesetzten Pendels. Um die reducirte Länge L eines gegebenen zusammengesetzten Pendels zu bestimmen, sucht man dessen Schwingungszeit (falls sie nicht schon bekannt ist), indem man das Pendel zum Schwingen bringt, und die Anzahl N Schwingungen beobachtet, welche es in einer längern Zeit T macht, wo dann $\frac{T}{N} = t$ die Schwingungszeit des Pendels ist, und findet aus der, der Formel (49) analog aufgestellten Gleichung $t = \pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ die reducirte Länge $L = \frac{t^2 g}{\pi^2}$ . . . (†), (und zwar, wie kaum einer Erwähnung bedarf, in den nämlichen Längeneinheiten ausgedrückt, in welchen die als bekannt vorausgesetzte Acceleration gegeben ist, da t als Anzahl von Zeiteinheiten (Sekunden) und π unbenannte Zahlen sind). So erhält man z. B. die reducirte Länge des Wiener Sekundenpendels, da für ein Sekundenpendel $t = 1$ und für Wien die Acceleration $= 31{\cdot}03$ Fuß ist, gleich $\frac{31{\cdot}03}{9{\cdot}869}$ Fuß $= 3{\cdot}144$ Fuß.

Eine andere Methode, die reducirten Längen zusammengesetzter Pendel zu bestimmen, ergibt sich aus nachstehender Betrachtung. Es sei **AB** Fig. 73 ein zusammengesetztes Pendel im weiteren Sinne des Wortes (**74**), durch **C** gehe die als horizontal vorausgesetzte Drehungsaxe und **T** sei dessen Schwingungszeit. Man kann dasselbe offenbar aus so vielen einfachen Pendeln zusammengesetzt betrachten, als es materielle Punkte m_1, m_2, m_3 .... enthält; denn denkt man sich durch jeden solchen Punkt eine auf die Drehungsaxe **C** senkrechte Ebene gelegt, so stellen die Durchschnittspunkte dieser Ebenen mit der Axe **C** die fixen Punkte a_1, a_2, a_3, a_4 ... (die in der Figur nicht angedeutet werden konnten) vor, um welche sich die respectiven materiellen Punkte m_1, m_2, m_3, m_4 ... drehen, die geraden Verbindungslinien $m_1 a_1$, $m_2 a_2$, $m_3 a_3$ ... repräsentiren die Längen der einfachen Pendel, und die zwischen allen materiellen Punkten des zusammengesetzten Pendels wirksame Cohäsionskraft bildet das durch den Begriff des einfachen Pendels bedingte schwerlose und nicht träge Verbindungsmittel der schweren Punkte m_1, m_2, m_3, m_4 ..., mit ihren respectiven Drehpunkten. Könnten alle die einfachen Pendel $m_1 a_1$, $m_2 a_2$, $m_3 a_3$ .... von einander abgesondert und unabhängig schwingen, so müßten die (durch näher an der Axe **C** gelegene schwere Punkte gebildeten) kürzeren Pendel schneller schwingen als die längeren (3. Gesetz auf S. 100). Sind sie nun im zusammengesetzten Pendel, wegen ihrer unveränderlichen Verbindung untereinander, gezwungen gleichzeitig zu schwingen, so müssen die kürzeren einfachen Pendel in ihrer Bewegung durch die längeren verzögert, diese hingegen durch jene beschleunigt werden, und die Schwingungszeit **T** des zusammengesetzten Pendels muß offenbar zwischen die Schwingungszeiten hineinfallen, welche gewissen der einfachen, unabhängig von einander schwingend gedachten Pendel, z. B. den Pendeln $m_1 a_1$ und $m_4 a_4$ entsprechen, so daß sie größer als die Schwingungszeit des Pendels $m_1 a_1$, aber kleiner als jene von $m_4 a_4$ ist und der Schwingungszeit eines andern der besagten einfachen Pendel, z. B. des Pendels $m_3 a_3$, gleicht, dessen Länge zwischen den Längen der Pendel $m_1 a_1$ und $m_4 a_4$ darinnen liegt. Man nennt den diesem einfachen, mit dem zusammengesetzten Pendel gleichzeitig schwingenden Pendel $m_3 a_3$ angehörigen schweren Punkt m_3, welcher demnach in Verbindung mit den übrigen materiellen Punkten des zusammengesetzten Pendels ebenso schnell schwingt, als er es thun müßte, wenn er bei gleichem Abstande von der Axe **C** frei und außer Verbindung mit diesen Punkten schwingen könnte, Schwingungsmittelpunkt. Da der Abstand $m_3 a_3$ des Schwingungsmittelpunktes m_3 von der Drehungsaxe **C** dem Vorhergehenden zu Folge die Länge des mit dem zusammengesetzten Pendel gleichzeitig schwingenden einfachen Pendels, d. i. die reducirte Länge **L** des ersteren vorstellt, so ist derselbe der reducirten Länge **L** gleich und wird, wie diese mittelst der Formel (†) auf S. 102 gefunden.

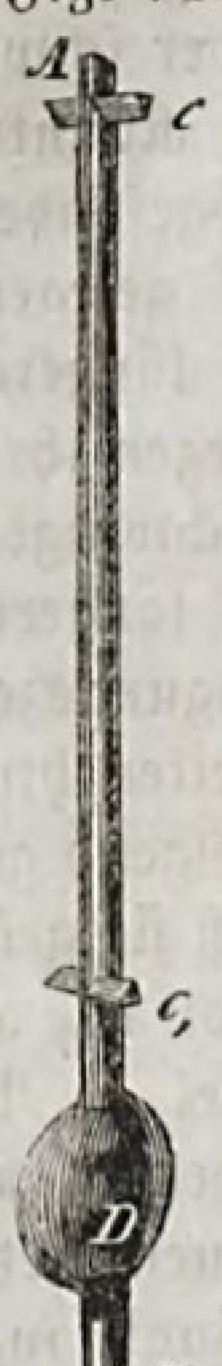
Fig. 73.



Die Lage des Schwingungsmittelpunktes hängt von der Form des Pendels, von der Dichte und Anordnung der Masse in seinen Theilen ab. Er rückt offenbar näher an die Drehungsaxe oder entfernt sich von derselben, je nachdem durch entsprechende Abänderung an dem Pendel ein Theil seiner Masse der Drehungsaxe näher gebracht oder von derselben mehr entfernt wird, als dies vorher der Fall war. Deswegen sind die gewöhnlichen Stangenpendel (Fig. 72) meistens so eingerichtet, daß sich, wie es am Pendel **DE** (Fig. 72) dargestellt ist, die linsenförmige Masse daran längst der Stange verschieben und mittelst einer am untern Ende der letzteren auf und ab schraubbaren Schraubenmutter **m** in verschiedener Entfer-

nung von der Drehungsaxe feststellen läßt, um hiedurch die reducirte Länge des Pendels nach Bedürfniß verändern zu können. In jedem zusammengesetzten Pendel gibt es nothwendig einen oder mehrere Schwingungsmittelpunkte, und es läßt sich zeigen, daß jeder unter der Drehungsaxe, in der durch diese und den Schwerpunkt des Pendels gelegten Ebene befindliche und um den Betrag der reducirten Länge des Pendels von der Axe abstehende Punkt ein *Schwingungsmittelpunkt* sei, so daß sämmtliche Schwingungsmittelpunkte eines zusammengesetzten Pendels in einer geraden Linie liegen, welche der Drehungsaxe parallel, und von dieser in einer durch sie und den Schwerpunkt des Pendels gehenden Ebene um den Betrag der reducirten Länge entfernt ist. Diese, die Schwingungsmittelpunkte enthaltende Linie wird die *Axe der Schwingungsmittelpunkte* oder die *Schwingungsaxe* genannt, und sie hat die merkwürdige Eigenschaft, daß, wenn man sie zur Drehungsaxe des Pendels macht, dasselbe unter übrigens gleichen Umständen genau so schwingt, wie um die vorige eigentliche Drehungsaxe. Sind daher an einem zusammengesetzten Pendel (in gehörigen Abständen von dessen Enden) zwei zu einander parallele Axen c und c_1 (Fig. 74) so angebracht, daß es in der nämlichen Zeit t, z. B. in einer Sekunde, eine Schwingung macht, man mag es um die Axe c oder c_1 schwingen lassen, so gibt der Abstand beider Axen von einander die reducirte Länge des zusammengesetzten Pendels, dessen Schwingungszeit t ist, also für den Fall, daß $t = 1$ Sek. sei, die reducirte Länge des Sekundenpendels an. Man nennt ein solches Pendel mit verwechselbaren Drehungsaxen, welches sich umkehren läßt, ohne daß die Schwingungszeit geändert wird, *Reversionspendel*. Dasselbe wurde von *Kater* erfunden und gestattet sehr nützliche Anwendungen, namentlich zur Bestimmung der reducirten Länge zusammengesetzter Pendel, wie gleich nachher gezeigt wird.

Fig. 74.



Wenn, wie bei dem Pendel AC in Fig. 72, die Drehschneide C nicht am äußersten oberen Ende, sondern mehr oder weniger unterhalb dieses Endes angebracht ist, so müssen beim Schwingen des Pendels, während die Punkte seines unteren Stückes AC in Bögen abwärts sich bewegen, die Punkte des oberhalb C gelegenen Pendelstückes in Bögen gehoben werden. Da dieses Heben nur durch die das Pendelstück AC bewegende und dessen Geschwindigkeit bestimmende Kraft bewerkstelligt werden kann, so muß dies offenbar auf Kosten dieser Geschwindigkeit geschehen, das Pendel also langsamer und zwar desto langsamer schwingen (eine desto größere Schwingungszeit erhalten), je mehr die Drehschneide C dem Schwerpunkte des ganzen Pendels näher gebracht wird, was durch Vergrößerung der Masse des Stückes oberhalb C am leichtesten und im beliebig verschiedenen Grade mittelst eines auf diesen hinreichend lang gemachten obern Stücke der Pendelstange aufgesteckten und darauf längst desselben verschiebbaren Gewichtes (p) geschehen kann. Hierauf beruht das *Metronom* von *Mälzel*. Es hat dasselbe die Bestimmung, das Zeitmaß der Takte in den verschiedenen Musikstücken genauer angeben zu können, als dies durch die Worte *Adagio*, *Allegro*, *Largo* u. s. w. dem Compositeur möglich ist, und besteht in Wesenheit aus einer etwa 10 Zoll langen 0·5 Zoll breiten und 0·25 Zoll dicken hölzernen Pendelstange, die um eine horizontale, etwa 7 Zoll weit vom untern, eine messingene Linse tragenden Ende angebrachte Drehschneide schwingt, auf deren über dieser Schneide gelegenem 7 Zoll langem Stücke ein Gewichtchen (p) in Gestalt einer messingenen Hülse verstellbar ist und Zahlen verzeichnet sind, wovon jede die Anzahl der Schwingungen angibt, die das Pendel in einer Minute macht, wenn das Gewichtchen (p) auf derselben eingestellt ist. Schreibt nun der Compositeur in seinen Musikstücken für den ganzen Takt (für die ganze Note) z. B. die Zahl 24 Mälz. vor, so hat man am Metronom das Gewichtchen (p) auf die Zahl 24 des Theils der Pendelstange ober der Drehschneide zu stellen und dann einen ganzen Takt (eine ganze Note) des betreffenden Musikstückes so lange als eine Schwingung andauern zu lassen.

80. Construction und Anwendung des Reversionspendels.

Wollte man ein Reversionspendel mit bestimmter Schwingungszeit **T** construiren, so würde man am einfachsten auf folgende Weise zum Ziele kommen. Man bestimme vor allem nach der Formel (†) auf S. 102 die reducirte Länge **L** des Pen-

dels von der fürs Reversionspendel beabsichtigten Schwingungszeit **T**, nehme nun eine möglichst gleichförmig gearbeitete Metallstange **AB** (Fig. 74), deren Länge um 12—15 Zoll mehr beträgt als die gefundene reducirte Länge **L**, versehe sie in der Nähe des einen Endes **A** mit einer stählernen Schneide **c**, bringe in einem Abstande von dieser Schneide, welcher genau so groß ist, als die reducirte Länge **L**, eine zweite stählerne Schneide c_1 so an, daß die beiden Schneiden zu einander möglichst parallel sind und, wenn das Pendel auf der Schneide **c** ruht, genau in derselben Vertikalebene (mithin in der durch die Axe **c** und den Schwerpunkt des Pendels gehenden Ebene) liegen *), schiebe dann auf die Stange unterhalb c_1 ein linsenförmiges oder cylindrisches Gewicht **D** auf und bewirke durch Verstellung dieses Gewichtes auf **AB** (nöthigen Falls auch durch Veränderung desselben) und gleichzeitiges Abnehmen des untern Endes der Stange, daß dem Pendel, wenn es um die Schneide **c** schwingt, die bestimmte Schwingungszeit **T** entspreche. Es wird das Pendel dann um beide Schneiden ganz gleichzeitig schwingen, und der Abstand beider Schneiden von einander wird genau die reducirte Länge des zusammengesetzten Pendels angeben, welches in der Zeit **T** eine Schwingung macht.

Mittelst eines Reversionspendels kann man nun die reducirte Länge eines jeden andern zusammengesetzten Pendels, und zwar, ohne daß man die Größe der Acceleration der Schwere (deren Kenntniß Bedingung ist, um die reducirte Länge nach der vorn S. 102 unter (†) angegebenen Gleichung zu erhalten) bestimmen. Denn beobachtet man die Anzahl **N** Schwingungen, welche in einer Zeit **Z** das Reversionspendel und die Anzahl N_1 Schwingungen, welche in gleicher Zeit **Z** das zusammengesetzte Pendel macht, dessen reducirte Länge zu bestimmen ist, bedeutet ferner **L** die bekannte (dem gegenseitigen Abstand der beiden Drehungsschneiden gleiche) reducirte Länge des Reversionspendels, und L_1 die zu ermittelnde reducirte Länge des andern zusammengesetzten Pendels, so hat man nach Proportion (53) auf S. 101, $N^2 : N_1{}^2 = L_1 : L$, mithin $L_1 = \frac{N^2 L}{N_1{}^2}$ (denn beide Pendel verhalten sich dem Satze (54) zu Folge bezüglich der Schwingungszeiten und Schwingungszahlen ganz wie zwei einfache Pendel von den Längen **L** und L_1).

Machte z. B. hier in Wien ein Reversionspendel, dessen reducirte Länge 652 Linien beträgt, in einer Minute 50 Schwingungen, so hätte man zur Bestimmung der reducirten Länge x des Sekundenpendels für Wien (da ein Sekundenpendel in jeder Sekunde eine, somit in der Minute 60 Schwingungen machen muß) die Proportion $50^2 : 60^2 = x : 652$, woraus $x = 452{,}8$ Linien $= 3{,}144$ Fuß folgt.

Die Anwendung des Reversionspendels zu andern genauen Messungen, so wie die zweckmäßigste Construction, welche dasselbe zu diesem Behufe erhält, zu beschreiben, liegt außer der Bestimmung dieses Buches.

Noch eine andere Methode, die reducirte Länge eines zusammengesetzten Pendels zu bestimmen, die zwar kein ganz genaues, aber doch der Wahrheit nahe kommendes und deswegen in vielen Fällen hinreichendes Resultat liefert, gründet sich auf die Erfahrung, daß eine Blei-, eine Platin- oder eine andere Metallkugel von einigen Linien Durchmesser, welche an einem dünnen Faden festgemacht ist und um den Aufhängepunkt des Fadens schwingt, sehr nahe als einfaches Pendel betrachtet werden kann, dessen Länge dem Abstand des Mittelpunktes der Kugel

---

*) Letzteres wird dadurch erreicht, daß man, wenn schon beim Einsetzen der Schneide c_1 in die Stange wenigstens näherungsweise der Bedingung, daß beide Schneiden in die nämliche Vertikalebene fallen, Genüge geleistet worden, — während das Pendel auf der Schneide c ruht, von dieser ein feines Loth (Senkblei) herabhängen läßt, und von der Masse der Stange an der einen oder der andern Seite so lange etwas wegnimmt, bis das Loth genau mit der Schneide c_1 einspielt.

vom Aufhängepunkte des Fadens gleich ist, und diese Methode besteht darin, daß man das betreffende zusammengesetzte Pendel und neben demselben das Fadenpendel in Schwingungen versetzt, und an letzterem das Fadenstück zwischen der Kugel und dem Aufhängepunkt allmälig so weit verlängert oder verkürzt, bis beide Pendel ganz gleichzeitig schwingen. Der Abstand des Mittelpunktes der Kugel vom Aufhängepunkt des Fadens ist dann die reducirte Länge des zusammengesetzten Pendels.

Anwendung und Nutzen des Pendels. 1. Am wichtigsten ist die Anwendung des Pendels zum Messen der Zeit. Da nämlich das Pendel seine einzelnen Schwingungen durch gleich große Bögen immer in vollkommen gleichen Zeittheilen vollbringt, so braucht man mit demselben, um einen richtigen und bequemen Zeitmesser zu erhalten, nur einen Mechanismus zu verbinden, welcher einestheils dem Pendel bei jeder Schwingung einen so bemessenen Impuls ertheilt, daß dadurch die Hindernisse der Pendelbewegung (Reibung und Luftwiderstand) gerade überwunden werden, mithin jede aus diesen Hindernissen sonst resultirende Veränderung der Größe des Schwingungsbogens und der Schwingungszeit verhindert wird, und anderntheils die Zahl der vollbrachten Schwingungen, somit der verflossenen gleichen Zeittheile mechanisch anzeigt; und dies ist der Fall bei den Pendeluhren.

Fig. 75.

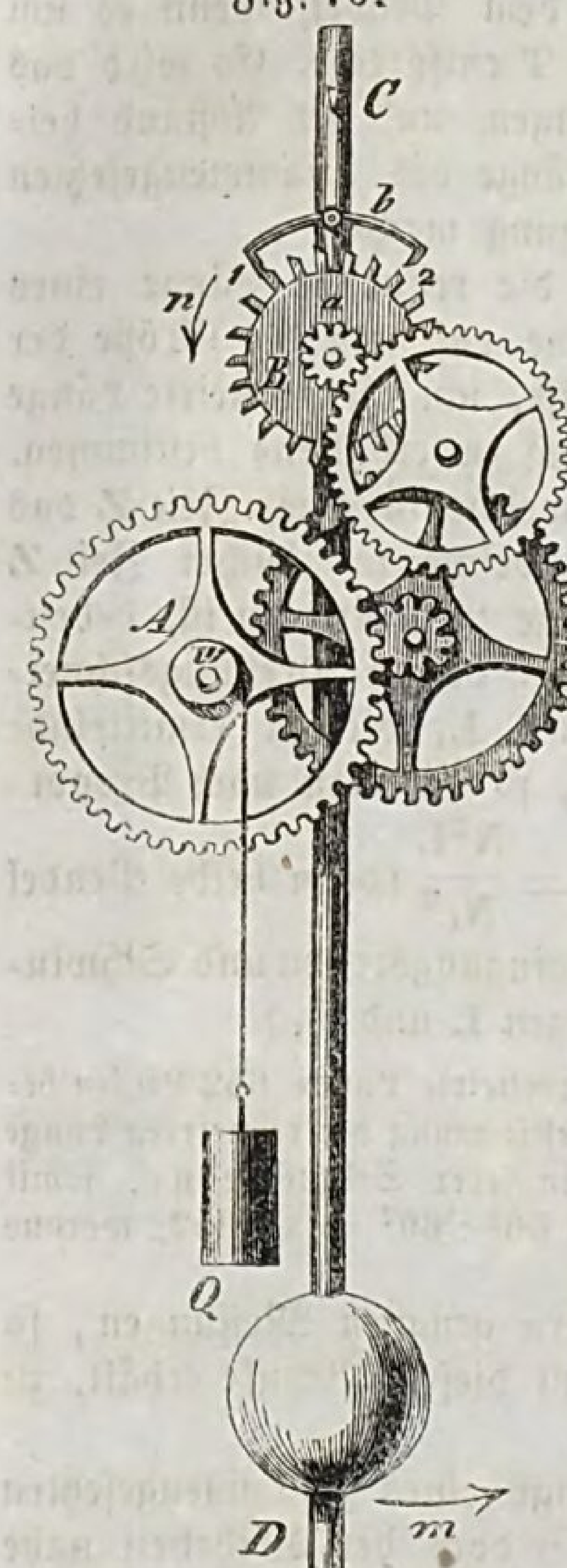
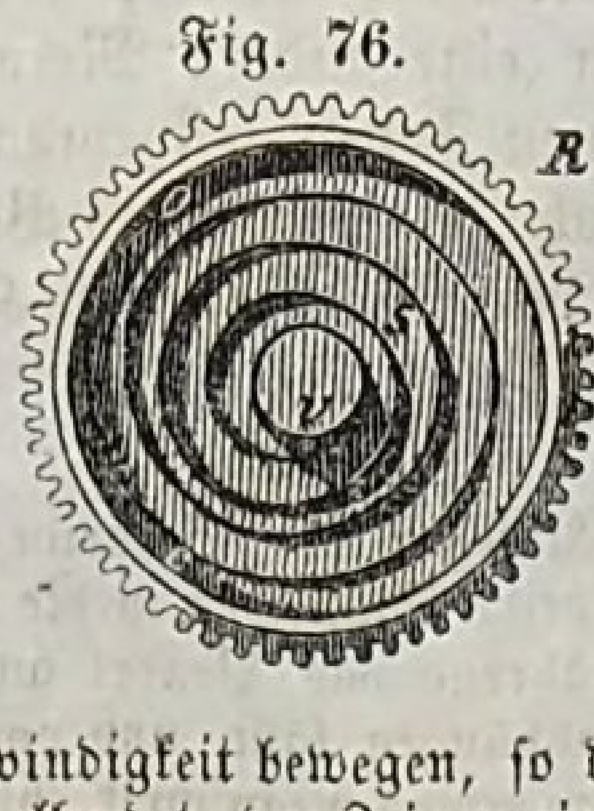


Fig. 76.



Um von der Art der Verbindung und des Zusammenwirkens des Pendels und des übrigen Mechanismus an einer solchen Uhr eine gehörige Vorstellung zu bekommen, denke man sich eine entsprechende Anzahl in verschiedenen, zu einander parallelen Vertikalebenen liegender und in einem passenden Gestelle um horizontale Axen beweglicher Zahnräder, die so in einander eingreifen, daß (wie es die Fig. 75, in welcher einige der besagten Räder dargestellt sind, und aus welcher man sich vorläufig das Pendel DC noch hinweg denken muß, anschaulich macht) immer die Zähne am Umfang eines Rades mit einem an der Axe des nächsten Rades angebrachten Getriebe a im Eingriffe stehen. Man denke sich ferner das ganze Räderwerk bewegt, und zwar entweder durch ein Gewicht Q, das an einer, um die walzenartige Axe w eines der Räder, z. B. des Rades A, mehrfach herumgewundenen Schnur hängt, und welches, indem es zu Boden zu fallen sucht, die Walze w sammt dem Rade A dreht (wie dies bei den Pendeluhren mit Gewichten der Fall ist), oder (wie bei den Stockuhren) durch die Spannkraft einer stählernen Spiralfeder s, welche mit einem Ende an der feststehenden walzenförmigen Axe v eines der besagten Zahnräder (das man, mit R bezeichnet in Fig 76 abgesondert sieht und sich anstatt des mit dem Gewichte Q versehenen Rades selbst oder an einer anderen passenden Stelle in dem Rädersysteme angebracht denken muß,) befestigt, dann um diese Axe mehrmals und streng herumgewunden, mit ihrem zweiten Ende an einem Punkte o der innern Wand eines hohlen, die Axe v concentrisch umgebenden, mit dem Rade R unveränderlich vereinigten Cylinders c festgemacht ist, und indem sie sich von der Walze v abzuwickeln sucht, das Rad R dreht. Wäre nun diese, auf die eine oder die andere Art, dem Räderwerke ertheilte Bewegung eine durch einen längern Zeitraum (ein oder mehrere Tage) andauernde und gleichförmige Bewegung .... (†), so daß, wenn man sich an den Axen der Räder Zeiger angebracht dächte, jeder solche Zeiger in gleichen Zeiten gleiche Bögen durchliefe; wäre ferner durch eine entsprechende Anzahl der Zähne am Umfange bestimmter Räder und an den mit denselben im Eingriffe stehenden Getrieben dafür gesorgt, daß diese bestimmten Räder sich mit ungleicher Geschwindigkeit bewegen, so daß z. B. der Zeiger eines Rades einen ganzen Umkreis in 1 Minute vollendet, der Zeiger eines zweiten Rades aber hiezu 1 Stunde, und jener eines dritten Rades 12 Stunden erfordert; so hätte man an dem beschriebenen Räderwerk allein schon einen

richtigen und bequemen Zeitmesser, eine Uhr. Denn bewegen sich die besagten drei Zeiger über Zifferblättern, worauf die Umkreise, welche die Enden beschreiben, und zwar jene für den ersten und zweiten Zeiger in 60 und der Umkreis für den dritten Zeiger in zwölf gleiche Theile eingetheilt sind, so zeigen diese Zeiger durch die Anzahl der Abtheilungen, die sie auf ihren respektiven Zifferblättern von einem bestimmten Momente aus durchlaufen haben, und zwar der erste Zeiger die Sekunden (Sechzigstel einer Minute), der zweite Zeiger Minuten (Sechzigstel einer Stunde), und der dritte Ze ger endlich die Stunden an, die seit dem besagten Momente verflossen sind. Allein die auf die beschriebene Weise erzeugte Bewegung des Räderwerkes (der einzelnen Räder) kann keine gleichförmige, sondern muß, da die bewegende Kraft (in dem einen Falle die Schwere des Gewichtes, und in dem zweiten die Elasticität der Spiralfeder) continuirlich wirkt, nach **19** eine beschleunigte sein; überdies kann sie nur sehr kurze Zeit (wenige Sekunden) andauern, da, wenn das Gewicht während des Sinkens, oder die Feder während ihres Abwickelns durch nichts Anderes, als durch die an den Rädern stattfindende Reibung aufgehalten wird, ersteres sehr bald am Ende des beschränkten Fallraumes, der demselben immer nur gestattet sein kann, ankömmt, und letztere schnell ihr Abwickeln vollendet. Es ist daher, soll das erklärte Räderwerk zur Uhr werden, noch ein Mittel erforderlich, wodurch die besagte beschleunigte Bewegung der Räder in eine gleichförmige verwandelt und zugleich so verzögert wird, daß sie, wie vorne zur Bedingung gemacht worden, einen gehörig langen Zeitraum hindurch anhält, und ein solches Mittel ist ein Pendel, welches seine Drehungsaxe oder seinen Aufhängepunkt im Gestelle des Räderwerkes hat, sich (gewöhnlich hinter diesem) ungehindert bewegen kann und mit demselben durch einen eigenen Mechanismus, der den Namen „Hemmung" führt, in Verbindung steht. — Es stellt in der schon früher erwähnten Fig. 75 DC ein solches Pendel für das beschriebene Räderwerk und C seinen Drehungs- oder Aufhängepunkt vor. Unter den verschiedenen Hemmungen, die bisher erdacht worden sind, wollen wir eine der einfachsten, nämlich die sogenannte Ankerhemmung betrachten. Diese besteht in einem mit der Pendelstange unterhalb ihres Drehungspunktes C in Verbindung gebrachten z. B. an ihr befestigten, und mit zwei Haken 1, 2 versehenen Kreisbogen b, der in die Zähne des einen der Räder (des Rades B) eingreifen kann. Die Stellung des Bogens (Ankers) b an der Pendelstange ist eine solche, daß wenn diese in vertikaler Lage ruht, der eine Haken 1, wie Fig. 75 zeigt, gerade unter die Spitze eines der Zähne am Rade B (dem Steigrade) greift, und hiedurch dieses Rad, mithin auch alle anderen Räder anhält, der Haken 2 hingegen außer Berührung mit den Zähnen des Steigrades steht. Wird nun das Pendel in der Richtung des Pfeiles m aus der Ruhelage herausgebracht, so rückt (man sehe Fig. 77, wo, so wie in Fig. 78, das Pendel und das Steigrad allein dargestellt sind) der Haken 1 noch weiter unter den besagten Zahn, und das Stillstehen des Räderwerkes dauert fort, bis das Rad selbst dem Weiterrücken des Hakens 1 ein Ziel setzt, wo dann das Pendel in der Lage CM seine größte Höhe (Schwungweite) erreicht hat. Indem es aus dieser Lage nach der andern Seite hin schwingt, tritt der Haken 1 aus den Zähnen des Rades B heraus, dieses Rad wird daher frei, kann nun wieder der Zugkraft des Gewichtes Q oder der Spannkraft der Spiralfeder (Fig. 76) folgen und sich so lange in der Richtung des Pfeiles n bewegen, bis der Haken 2 des Ankers zwischen die Zähne des Steigrades tritt, (siehe die Fig. 78) und dieses Rad sammt dem übrigen Räderwerke wieder aufhält. Indem dies geschieht, erreicht das Pendel zugleich, in der Lage CM_1 (Figur 78), das zweite Ende seines Schwingungsbogens, kehrt dann von hier in die Lage CM (Fig. 77) zurück und gestattet hierbei während der Zeit, wo der Haken 2 die Zähne des Steigrades schon verlassen und der Haken 1 auf der andern Seite in dieselben noch nicht eingegriffen hat, dem Steigrade und den übrigen Rädern, sich wieder weiter zu bewegen u. s. f., so daß jedes Rad in den Zeiten, welche das Pendel zum Zurücklegen der einzelnen Schwingungen braucht, immer einen Ruck nach vorwärts macht. Sind nun diese Zeiten gleich groß, so sind es auch die ruckweisen Bewegungen jedes Rades, d. h. die Bewegung sämmtlicher Räder ist eine gleichförmige. Da die einzelnen Räder, wie schon vorn bemerkt worden, sich mit, durch die Zahl der Zähne an ihrem Umfange und an den zugehörigen Getrieben bedingter, verschiedener Geschwindigkeit bewegen müssen, so wird natürlich für jedes Rad die Größe des besagten Ruckes eine andere und bei gehörigem Verhältnisse der Zahl

Fig. 77.

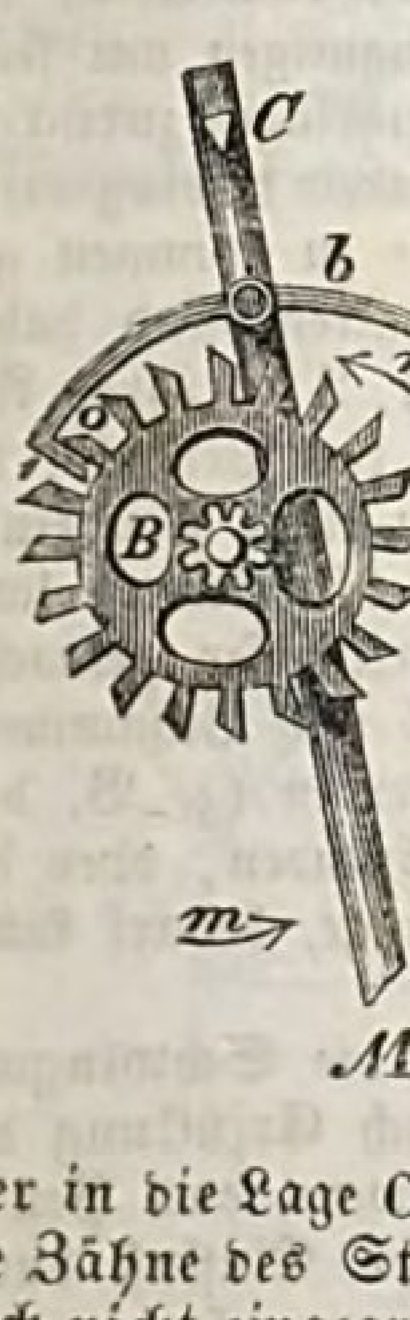


Fig. 78.

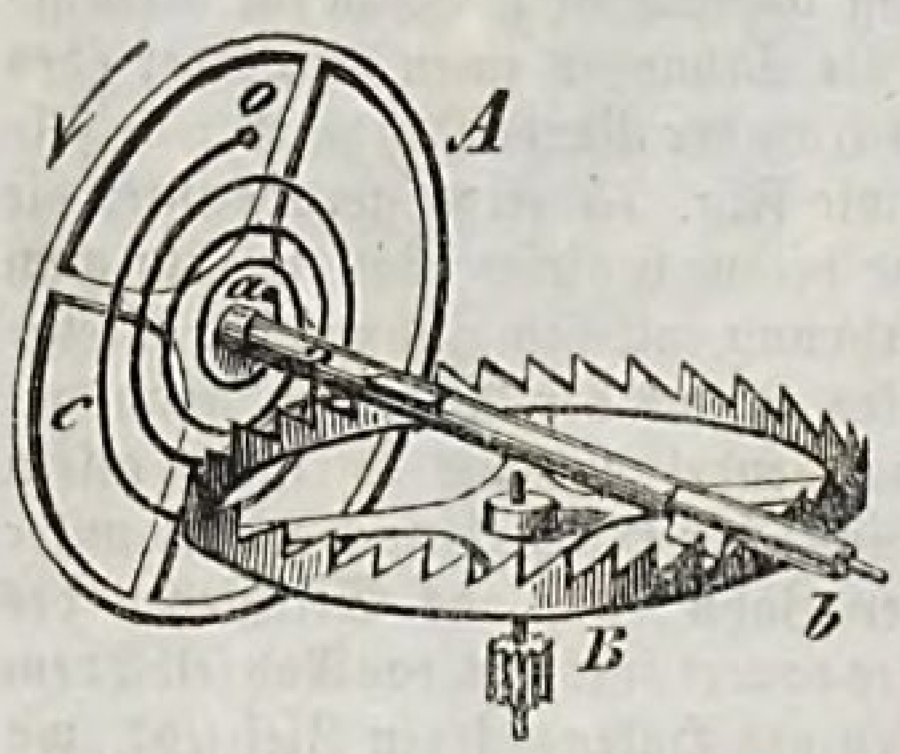


der Zähne an den verschiedenen Rädern eine solche sein, wie sie erfordert wird, damit der Sekunden-, Minuten- und Stundenzeiger seine Bestimmung erfüllt.

Da das Pendel in der Zeit, in welcher es eine Schwingung macht (z. B. in 1 Sekunde, wenn es ein Sekundenpendel ist), dem Steigrade immer nur um einen Zahn vorzurücken gestattet, da ferner die übrigen Räder alle eine geringere Geschwindigkeit als das Steigrad besitzen müssen, und überdies durch die Verzahnungsverhältnisse dafür gesorgt ist, daß das Rad, auf welches unmittelbar das Gewicht oder die Spiralfeder wirkt, sich mit der allerkleinsten Geschwindigkeit bewege, so wird eine lange Zeit (Tage, Wochen u. s. w.) verfließen, bevor das Gewicht am Endpunkte seines Fallraumes ankömmt oder die Feder ganz abgewickelt, mithin die bewegende Kraft und mit ihr die Bewegung des Räderwerkes zu Ende ist, und es erfüllt somit das Pendel die erste der S. 106 bei (+) angeführten Bedingungen, unter welchen ein Räderwerk einen geeigneten Zeitmesser abgeben kann, nämlich die Bedingung, daß die Bewegung des Räderwerkes eine, hinreichend lange Zeit andauernde sei. Daß aber das Pendel eine so lange Zeit hindurch und stets gleichzeitig schwingt, wie es zur Erzielung einer gleichförmigen Bewegung des Räderwerkes, also zur Erfüllung auch der zweiten der unter (+) aufgestellten Bedingungen erforderlich ist, wird durch die Stöße bewirkt, welche die Zähne des im Fortschreiten begriffenen Steigrades auf die sie anhaltenden Ankerhaken üben und machen, daß der Schwingungsbogen des Pendels am Ende jeder Schwingung immer wieder um so viel vergrößert wird, als er während der Schwingung durch die Bewegungshindernisse (Reibung an der Umdrehungsaxe und Luftwiderstand) vermindert worden ist, mithin stets die gleiche Größe (die Bedingung gleichzeitiger Schwingungen) behält. Bei einer Pendeluhr reguliren sich daher Pendel und Räderwerk gegenseitig.

Was bei den Pendeluhren das Pendel, leistet bei den anderen Uhren (Taschenuhren, Chronometern) die sogenannte Unruhe, d. i. (Fig. 79) ein metallenes ungezähntes Rädchen A, das sich um eine Axe (Spindel) ab drehen kann, um welche eine sehr feine, haarartige, mit einem Ende an der Unruhe a und mit dem andern an einem Punkte o des Rädergestelles der Uhr befestigte Stahlfeder c spiralförmig herumgewunden, und welche mit zwei schmalen Lappen 1, 2 versehen ist, deren Ebenen gegen einander nahe einen rechten Winkel machen und welche abwechselnd in die Zähne des Steigrades B eingreifen. Wird das Rädchen A in der Richtung des Pfeiles um einige Grade gedreht, so daß sich die Spiralfeder mehr zusammenwindet, und hernach ausgelassen, so sucht es in Folge Wirkung der Elasticität der Spiralfeder durch eine Reihe von Schwingungen um seine Axe ab wieder in die ursprüngliche Ruhelage zurückzukehren. Indem hiebei die Lappen 1, 2 wechselweise in die Zähne des Steigrades B eingreifen und von diesem Impulse empfangen, wird das Rädchen nicht nur zu Ruhe zu kommen gehindert, sondern seine Schwingungen werden immer bei gleicher Größe erhalten, sind daher gleichzeitig, und es wird somit auch durch die Unruhe, indem die Lappen 1, 2 an ihrer Axe auf das Steigrad eben so wirken, wie die vorher beschriebenen Ankerhaken des Pendels, die Bewegung des Steigrades und des mit demselben auf ähnliche Weise, wie an einer Pendeluhr im Eingriffe stehenden übrigen Räderwerkes zu einer gleichförmigen und hinreichend lang andauernden, mithin das Räderwerk zu einem richtigen und bequemen Zeitmesser gemacht.

Fig. 79.



Daß sowohl bei Uhren mit Pendeln als bei solchen mit Unruhen die Zahl und Zusammenstellung der Räder von den Anforderungen, die an solche Uhren gemacht werden (z. B. daß sie außer Minuten und Stunden auch die Sekunden zeigen, daß sie die Stunden, oder die Stunden und Viertelstunden schlagen oder repetiren sollen u. s. w.), abhänge, bedarf kaum einer Erwähnung.

Die Uhren beider Art können aber nur so lange richtig gehen, als die Schwingungen des Pendels oder der Unruhe gleichzeitig erfolgen, und dieses wird nach Erfüllung der übrigen bereits kennen gelernten Bedingungen nur dann der Fall sein, wenn das Pendel und die Unruhe gegen den Einfluß der Wärme gehörig verwahrt oder dieser Einfluß durch eigene, an dem Pendel oder der Unruhe angebrachte Vorrichtungen, die **Compensationen** heißen, unschädlich gemacht wird. Worin der den richtigen Gang einer Uhr störende Einfluß der Wärme bestehe, wie demselben überhaupt und insbesondere durch die besagten **Compensationen** begegnet werden könne, und welche die Wirkung und Einrichtung dieser Compensationen sei, wird in der Wärmelehre gezeigt werden. Indem wir schließlich nur noch bemerken, daß die genauesten Uhren immer zweckmäßig eingerichtete Pendeluhren sind, und daß nur aus den Händen weniger Meister in der Uhrmacherkunst Uhren mit Unruhen hervorgehen, die an Regelmäßigkeit des Ganges genauen Pendeluhren gleichen, und deswegen

durch die Benennung „Chronometer" ausgezeichnet werden, gehen wir nun zu dem anderweitigen Nutzen, den das Pendel gewährt, über.

2. Ein ruhendes Pendel zeigt die Richtung der Schwere an, worauf der Gebrauch des Senkblei's und der Schrotwage (**13**) beruht.

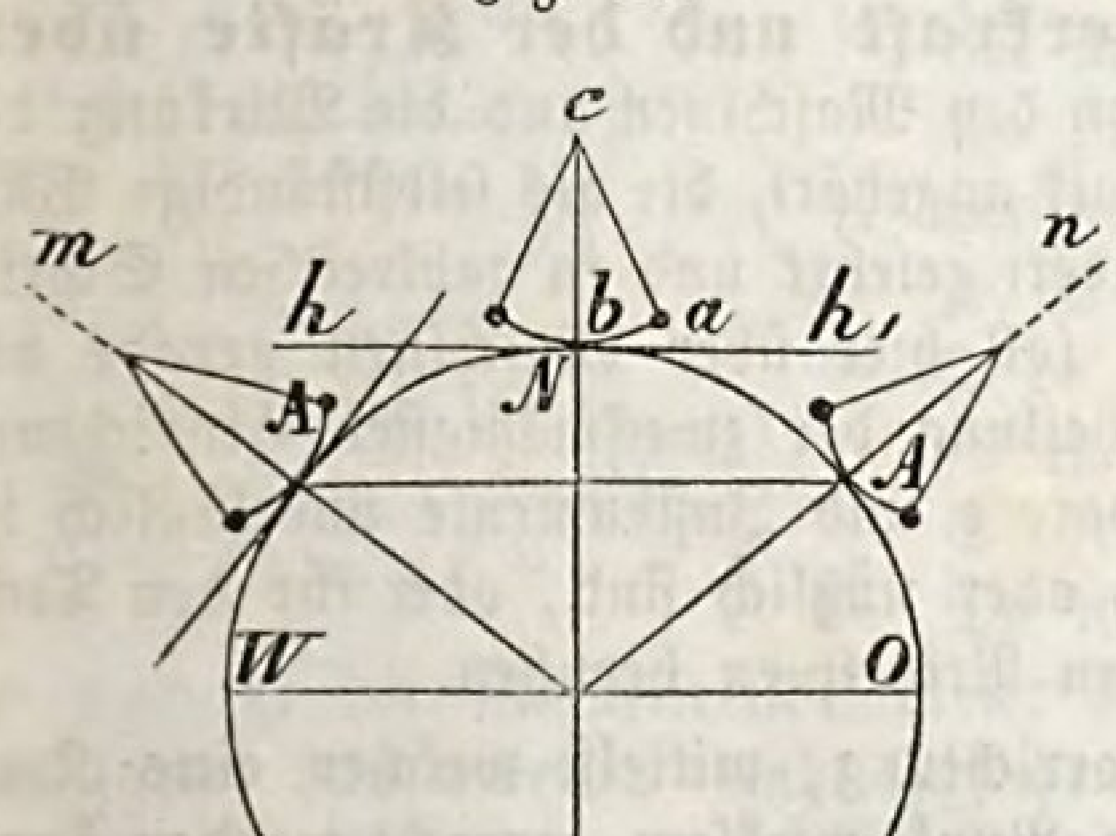
3. Ein Pendel liefert dadurch, daß es, wenn seine reducirte Länge (L) unverändert bleibt, kleine Schwingungen an einem und dem nämlichen Orte immer in gleichen Zeiten (T) vollendet, den Beweis von der Unveränderlichkeit der Intensität der Schwere an demselben Orte. Es folgt dies aus der Formel $T = \pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ (S. 99), nach welcher die Acceleration g bei unverändert bleibenden T und L stets den nämlichen Werth haben muß und aus dem Satze (in **51**), daß die Acceleration der Schwere g unter sonst gleichen Umständen der accelerirenden (Schwer-) Kraft proportional ist.

4. Ist die reducirte Länge L eines Pendels und die Schwingungszeit T (wie man beide bestimmt, wurde bereits gelehrt) bekannt, so gibt die Gleichung $T = \pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ die Größe der Acceleration der Schwere g für den Ort, wo das Pendel schwingt. So fand man mit Hilfe der genau bestimmten Länge L = 3·144021 Fuß des Wiener Sekundenpendels, für welches T = 1 ist, die Acceleration der Schwere für Wien (nach der Formel $1 = \pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ oder $g = \pi^2 L$) = 31·0302 Fuß. Daß die nämliche Formel die Länge des Sekundenpendels eines Orts gibt, wenn die Acceleration der Schwere für denselben bekannt ist, versteht sich von selbst. Uebrigens erhält man die Länge l des Sekundenpendels in Paris. Linien für einen Ort von der geographischen Breite b nach Bessels Bestimmungen mittelst der aus Messungen abgeleiteten Formel $l = 439{\cdot}2975 + 2{\cdot}2817 \sin^2 b$, wo 439·2975 Pariser Linien die Länge des Sekundenpendels am Aequator sind. Die Tafel VIII am Schlusse des Buches enthält die Längen der Sekundenpendel in verschiedenen Breiten.

5. Die Beobachtung, daß ein und dasselbe in der Länge unverändert bleibende Pendel am Gipfel eines Berges in einer bestimmten Zeit Z weniger Schwingungen mache, mithin zu einer Schwingung eine längere Zeit T brauche, als am Fuße des Berges, führt zu dem Schluß (der wieder aus obiger Formel für T folgt), daß in größeren Entfernungen vom Mittelpunkte der Erde die Schwerkraft mit geringerer Intensität wirke. Hieraus folgt weiter, daß, da nach dem Zeugnisse der Erfahrung ein Pendel bei unveränderter Länge desto schneller schwingt (d. h. zu einer Schwingung eine kürzere Zeit braucht), je weiter man sich mit demselben auf der Erde vom Aequator gegen den einen oder den andern Pol begibt, die Schwere vom Aequator gegen die beiden Pole hin immer wachse.

6. Das Pendel liefert, wie Foucault in neuester Zeit (1850) gezeigt hat, einen direkten Beweis der Axendrehung der Erde. Das Folgende wird diesen Beweis klar machen. Es stelle der Kreis in Fig. 80 die Erde (im Durchschnitte), die Linie NS die Axe, und die Linie WO den Aequator der Erde vor. Könnte in einem der Erdpole z. B. in N ein Pendel ac, das aus einer schweren, homogenen, an einem langen, biegsamen Faden hängenden Kugel besteht, so aufgehängt werden, daß der Aufhängepunkt in der verlängerten Erdaxe liegt, und die ihn tragenden Stützen an der täglichen Bewegung der Erde um ihre Axe nicht Theil nehmen, und man würde das Pendel in Schwingungen versetzen; so müßte, da die Schwingungsebene (die Ebene, worin die Schwingungen erfolgen) zu Folge der Trägheit der Materie im Raume stets eine unveränderte Lage bewahrt, diese Ebene, während die Erde von Westen nach Osten sich dreht, offenbar im entgegengesetzten Sinne (von Osten nach Westen) sich drehend erscheinen, und ihre Projection auf den Erdboden müßte, vorausgesetzt, daß die Schwingungen des Pendels durch 24 Stunden (die Umlaufszeit der Erde um ihre Axe) fortdauern, in dieser Zeit scheinbar eine ganze Umdrehung um die Vertikalprojection des Aufhängepunktes c auf den Erdboden vollbringen. Ganz das Nämliche muß auch geschehen, wenn das Pendel, wie dies in Wirklichkeit immer nur der Fall sein kann, an einem mit dem Erdboden sich bewegenden Punkt aufgehängt ist, da es, der Theorie und direkten Versuchen gemäß, keinen merklichen Ein-

Fig. 80.



fluß auf die Lage der Schwingungsebene nimmt, wenn man den Faden, sobald er nur rund und homogen ist, ziemlich rasch um sich selbst dreht. Etwas anders wird sich jedoch die Sache an Orten verhalten müssen, die zwischen dem Aequator und einem der Erdpole liegen. Je näher nämlich der Ort z. B. A dem Aequator sich befindet, eine desto schiefere Lage gegen die Erdaxe hat die Horizontalebene hh_1, und die Vertikalebene cb, in welcher das aufgehängte Pendel ruht, muß, anstatt daß sie sich, wie am Pole N, um sich selbst dreht, während des Umlaufs der Erde um ihre Axe stets einen beiderseits offenen Kegel (mAAn für den Ort A) beschreiben. Dies hat offenbar eine Verminderung der scheinbaren Bewegung der Schwingungsebene zur nothwendigen Folge. Ihre Horizontalprojection macht innerhalb 24 Stunden keinen ganzen Umlauf mehr und es läßt sich durch Rechnung zeigen, daß die Winkelbewegung der Schwingungsebene gleich ist der Winkelbewegung der Erde multiplicirt mit dem Sinus der geographischen Breite des Ortes, wo das Fadenpendel schwingt; aus welchem Satze weiter folgt, daß am Aequator d. i. für die geographische Breite = Null, die scheinbare Bewegung der Schwingungsebene auch Null ist. Da diese theoretischen Ergebnisse durch wirkliche Pendelversuche völlig bestätigt werden, so liefert dieses in der That einen direkten Beweis der Axendrehung der Erde. Den ersten derartigen Versuch stellte Foucault mit einem Pendel an, das aus einem 2 Meter langen und 0·6 bis 1·1 Millimeter dicken Stahldraht bestand, woran eine polirte Messingkugel von 5 Kilogr. Gewicht hing, die in der Verlängerung des Aufhängedrahtes, in welcher auch ihr Schwerpunkt lag, eine gegen den Boden gekehrte Spitze hatte. Unter dieser Spitze war ein vertikaler Stift so aufgestellt, daß, wenn das Pendel in Ruhe war, seine Spitze und im Anfange seines Schwingens die Schwingungsebene mit dem Stifte coincidirte. Nach weniger als einer halben Minute hatte die genaue Coincidenz der Schwingungsebene mit dem Stifte schon ihr Ende erreicht. Die schwingende Spitze zeigte sich merklich von dem Stifte abgelenkt und diese Ablenkung nahm immer zu, so daß die Bewegung der Schwingungsebene in der Richtung von Ost nach West immer mehr hervortrat. Recht auffallend zeigt sich diese Bewegung auch, wenn man anstatt des besagten vertikalen Stiftes unter dem Pendel ein längeres Sandhäufchen so anbringt, daß es die Form eines auf der Schwingungsebene nahe senkrechten dreiseitigen Prisma's hat und das Pendel bei jeder Schwingung mit seiner Spitze die aufwärts gekehrte Kante des Sandprismas seicht durchschneidet.

7. In dem Umstande, daß Pendel von den verschiedenartigsten Materialien, wenn sie nur die nämliche Länge haben und sonst gleichgestaltet sind, an einem und demselben Orte gleich schnell schwingen, liegt (wie abermals die Formel für die Schwingungszeit T zeigt) ein neuer Beweis des schon früher einmal aufgestellten Satzes: daß alle Materialien gleich schwer sind, d. h. mit gleicher Schnelligkeit (Acceleration) zu Boden zu fallen suchen. Endlich

8. beweist das Pendel in Gestalt eines Bleilothes (13), daß alle Materien einander anziehen, indem es in der Nähe großer Berge merklich von der vertikalen Richtung ab- und dem Berge zugelenkt erscheint. Diese Ablenkung fand Bouguer am Chimborazo 7 bis 8 Sekunden und Maskeline am Fuße der Shehallien in Schottland 54″.

81. Gleichgewicht der Schwerkraft und der Kräfte überhaupt an Maschinen. Da die Lehre von den Maschinen und die Wirkung der Kräfte an denselben dem Gebiete der Mechanik angehört, die als selbstständige Wissenschaft an allen technischen Schulen abgesondert gelehrt und in zahlreichen Schriften für sich abgehandelt gefunden wird, so soll hier über Maschinen gerade nur so viel vorgetragen werden, als zur Beurtheilung der zweckmäßigsten Einrichtung und Anwendung später abzuhandelnder Apparate und Instrumente unerläßlich ist, welche entweder dem Physiker unentbehrlich oder nützlich sind, oder für den Techniker Wichtigkeit haben und auf physikalischen Principien beruhen.

Maschine nennt man eine jede Vorrichtung, mittelst welcher eine Kraft auf einen außerhalb ihrer Richtung gelegenen Punkt wirksam gemacht werden kann, um dort eine gewisse andere Kraft, einen Widerstand oder ein Hinderniß zu überwinden. Die Kraft oder der Widerstand, der mittelst einer Maschine bekämpft werden soll, wird gewöhnlich die Last und die zur Bekämpfung dienende Kraft wird vorzugsweise die Kraft genannt. Wir werden in den meisten Fällen von der Größe der an Maschinen wirksamen Kräfte stets eine gehörige Vorstellung haben, wenn wir uns diese Kräfte durch Gewichte (eine gewisse Anzahl Pfunde u. dgl.) repräsentirt denken, und somit die Bedingungen aufsuchen, unter welchen an einer Maschine dem Zuge eines Gewichtes durch den Zug eines oder mehrerer anderer

Gewichte das Gleichgewicht gehalten wird. Was wir so von der Schwerkraft nachweisen werden, gilt dann, wie uns dabei von selbst klar werden wird, von allen andern Kräften, die man sich an der Maschine statt der Schwerkraft unter übrigens gleichen Umständen wirksam denkt. Endlich leuchtet ein, daß, wenn die Bedingungen des Gleichgewichtes von Kräften an einer Maschine bekannt sind, sich daraus die Bedingungen der Störung des Gleichgewichts, d. i. der Erzeugung von Bewegung mittelst der Maschine von selbst ergibt; es bedarf nämlich hierzu nur einer Vermehrung oder Verminderung des Effektes der einen oder der andern der im Gleichgewichte stehenden Kräfte.

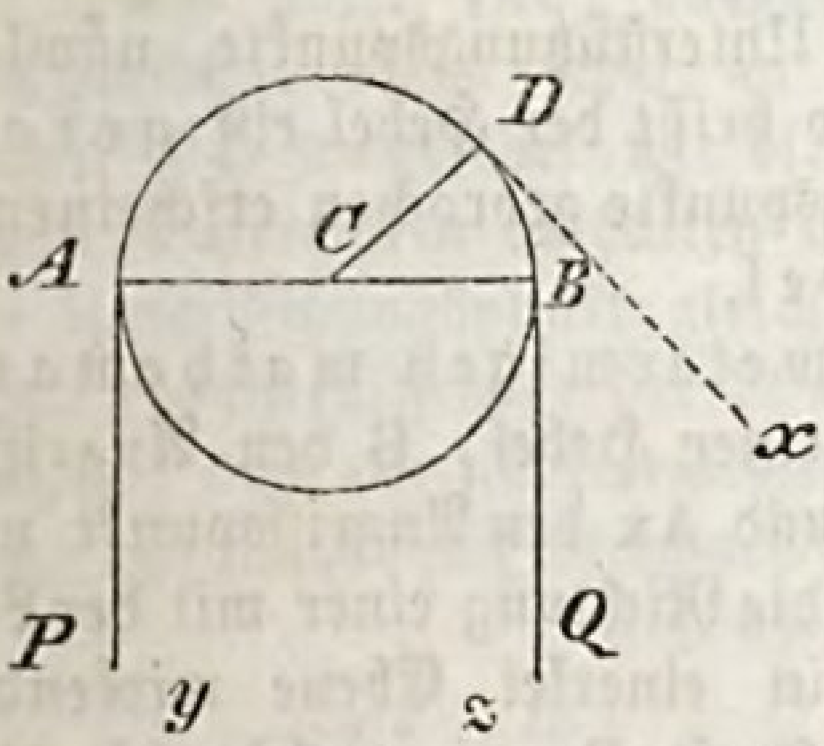
Es gibt einfache und zusammengesetzte Maschinen; einfach heißen solche, bei welchen keine Theile vorkommen, die für sich als Maschinen betrachtet werden können; zusammengesetzt hingegen jene, welche aus unter einander verbundenen Maschinen bestehen. Es reicht für unser Bedürfniß vollkommen hin, von den einfachen Maschinen, als da sind: die Rolle, der Hebel, die geneigte Ebene, die Schraube, das Wellrad, der Keil und die Stangen- oder Seilmaschine, nur die vier ersten zu betrachten. Von zusammengesetzten Maschinen wird uns die Folge hinlänglich viele Beispiele darbieten.

82. Von der Rolle. Die Rolle (Fig. 81) ist eine kreisrunde Scheibe, welche an ihrem Umfange eine ganz herumgehende Rinne zur Aufnahme einer Schnur oder Kette (woran Kraft und Last wirken) hat, und sich um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Axe drehen kann. Ist die Rolle nur um diese Axe beweglich, so heißt sie eine fixe, läßt sie sich aber nebstdem mit der Axe fort bewegen, so heißt sie eine bewegliche Rolle. Für unsere Zwecke genügt es, nur mit der fixen Rolle näher bekannt zu sein. Es stelle Fig. 82 einen Durchschnitt durch die Ebene der Rolle, **C** die Umdrehungsaxe und **yz** einen die Rolle zum Theil umfangenden Strick vor, an welchem die Gewichte **P** und **Q** hängen. Gesetzt, die beiden Gewichte hielten sich das Gleichgewicht, so würde dieses gewiß nicht gestört werden, wenn man sich den Strick in den beiden Punkten **A** und **B**, wo er die Rolle zuletzt berührt, an dieser festgemacht und nachher das Stück **ADB** desselben hinweg dächte. Dann hat man aber den unter **65** abgehandelten Fall wo zwei Kräfte **P**, **Q** in einerlei Ebene auf unveränderlich mit einander verbundene Angriffspunkte **A**, **B** wirken, und die Resultirende dieser Kräfte ist so beschaffen, daß die von irgend einem Punkte derselben auf die Richtungen der Kräfte gezogenen Senkrechten sich umgekehrt verhalten, wie die Kräfte. Da nun für den Zustand des Gleichgewichtes von **P** und **Q** die Resultirende dieser Kräfte aufgehoben werden, somit durch den einzigen vorhandenen unbeweglichen Punkt **C** gehen muß, so ist nothwendig $P : Q = CB : CA$; denn die Verbindungslinie des Centrums (**C**) eines Kreises und des Punktes (**A** oder **B**), in welchem eine Tangente (**AP** oder **BQ**) den Kreis berührt, steht auf dieser senkrecht. Da die Linie **AC** und **CB** als Halbmesser eines und desselben Kreises einander gleich sind, mithin auch $P = Q$ sein muß; da ferner die nämliche Schlußweise gilt, wenn die Kräfte **P** und **Q** nicht mehr nach parallelen Richtungen wirken, sondern **Q** z. B. die punktirte Richtung nach x annimmt (wo dann für den Gleichgewichtszustand $P : Q = CD : CA$ sein muß); so folgt, daß, wenn an einer fixen Rolle zwischen zwei Kräften Gleichgewicht herrschen soll, in allen Fällen diese Kräfte einander gleich sein müssen, wie dies schon vorn,

Fig. 81.



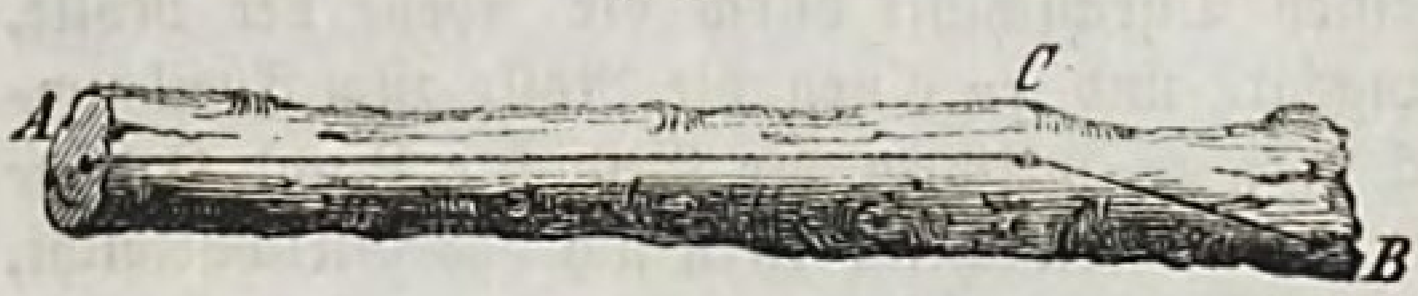
Fig. 82.



bei der Atwood'schen Fallmaschine nämlich, vorausgesetzt wurde. Es wird demnach an der Größe einer Kraft nichts geändert, wenn diese mittelst einer fixen Rolle eine andere Richtung erhält, und wir können uns in der Folge eine jede, nach was immer für einer Richtung wirkende Kraft als ein Gewicht vorstellen, dessen vertikal abwärts gerichteter Zug durch eine fixe Rolle die Richtung dieser Kraft bekommen hat. Daß die ermittelte Gleichgewichtsbedingung bei der Rolle nur insofern gilt, als man von der Trägheit der Rolle, dem Gewichte und der Steifheit des Strickes oder der Schnur und der Reibung an der Axe der Rolle absieht, versteht sich von selbst.

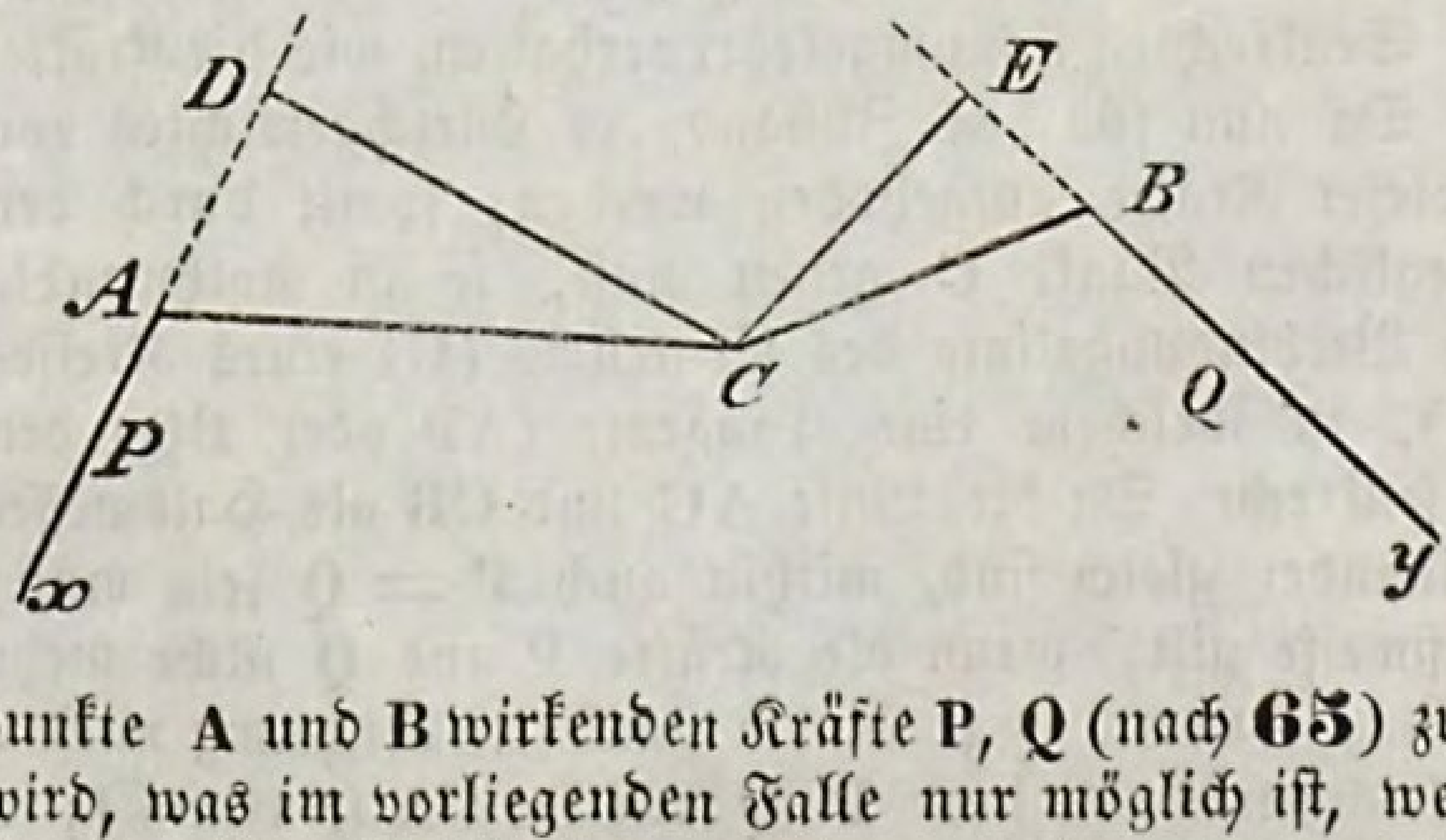
83. Vom Hebel. Man unterscheidet physische und mathematische Hebel. Jede unbiegsame, gerade oder krumme Stange oder stangenartige Masse, auf welche zwei oder mehrere Kräfte so wirken, daß sie dieselbe um eine feste Widerlage oder Stütze, den Unterstützungs- oder Drehpunkt, zu drehen suchen, ist ein physischer Hebel. Sieht man aber bei einem solchen Hebel von dem Gewichte der Stange und von den Hindernissen ihrer Bewegung ab, so nennt man den Hebel einen mathematischen. Da jeder physische Hebel leicht auf einen mathematischen zurückgeführt, d. h. für jeden physischen Hebel leicht ein mathematischer ausfindig gemacht werden kann, der sich ganz wie der physische verhält, so soll hier zuerst und vorzugsweise der mathematische Hebel betrachtet werden. Dem aufgestellten Begriffe eines solchen Hebels zu Folge, kann man sich denselben als eine gewichtlose, unbiegsame, gerade, krumme oder gebrochene Linie vorstellen, welche durch zwei oder mehrere Kräfte zur Drehung um einen ihrer Punkte (der fix zu denken ist) angeregt wird. Man nennt einen Hebel **AB** (Fig. 83), bei welchem der Unterstützungspunkt **C** zwischen den Angriffspunkten **A** und **B** der Kraft und der Last liegt, zweiarmig; befinden sich aber die Angriffspunkte der Kräfte auf einer Seite des Unterstützungspunktes, z. B. in **A** und **C**, während **B** den Unterstützungspunkt vorstellt, so heißt der Hebel einarmig. Bilden die geraden Verbindungslinien zwischen jedem Angriffspunkte der Kräfte und dem Unterstützungspunkte, nämlich die Linien **AC** und **CB**, eine einzige gerade Linie, so heißt der Hebel ein geradliniger; bilden sie hingegen eine am Unterstützungspunkte gebrochen erscheinende Linie, wie in Fig. 83, so heißt er ein Winkelhebel.

Fig. 83.



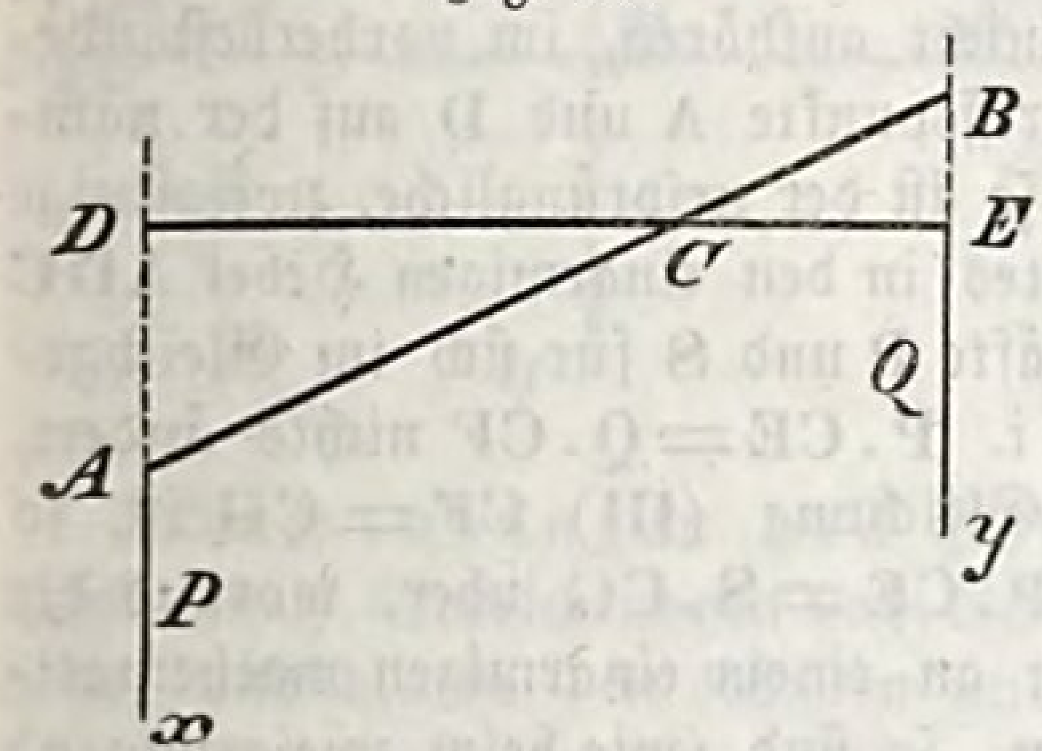
1. Gleichgewicht zweier Kräfte am zweiarmigen mathematischen Hebel. Es stelle die Linie **ACB** (Fig. 84) einen Hebel, **B** den Angriffspunkt und **By** die Richtung der Last **Q**, hingegen **A** und **Ax** den Angriffspunkt und die Richtung einer mit der Last in einerlei Ebene wirkenden Kraft **P** vor, welche die Last **Q** im Gleichgewichte erhalten soll. Es wird dies nur dann geschehen können, wenn die Wirkung der Resultirenden, zu welcher sich die zwei, auf verschiedene miteinander unveränderlich verbundene Angriffspunkte **A** und **B** wirkenden Kräfte **P**, **Q** (nach **65**) zusammensetzen lassen, aufgehoben wird, was im vorliegenden Falle nur möglich ist, wenn sie auf einen unbeweglichen Punkt trifft. Soll daher an einem zweiarmigen mathematischen Hebel zwischen zwei Kräften (**P**, **Q**) Gleichgewicht herrschen, so muß die Resultirende dieser Kräfte durch

Fig. 84.



den einzigen, an einem solchen Hebel vorhandenen unbeweglichen Punkt, den Unterstützungspunkt, gehen; dieser Punkt (**C**) muß also zu einem Punkt der Resultirenden werden und dann verhalten sich nach (37) und (38) S. 74 die Kräfte (**P**, **Q**) wie verkehrt die Senkrechten (**CD** und **CE**), die von dem Unterstützungspunkte auf die Richtungen der Kräfte gezogen werden, oder die statischen Momente der Kräfte sind in Bezug auf den Unterstützungspunkt gleich. Man hat demnach im Zustande des Gleichgewichtes **P** : **Q** = **CE** : **CD** oder **P** . **CD** = **Q** . **CE**. Da ganz die nämlichen Schlüsse auch auf den Fall, daß Kraft und Last nach parallelen Richtungen wirken, so wie auf geradlinige zweiarmige Hebel, die Richtungen der Kräfte daran mögen unter einander parallel oder nicht parallel sein, Anwendung leiden, so gelten allgemein für jeden zweiarmigen mathematischen Hebel die Sätze: Zwei Kräfte, die mit einander im Gleichgewichte stehen sollen, müssen sich umgekehrt verhalten, wie die vom Unterstützungspunkte auf ihre Richtungen gezogenen Senkrechten, oder: die statischen Momente beider Kräfte in Bezug auf den Unterstützungspunkt müssen gleich sein . . . . (55)

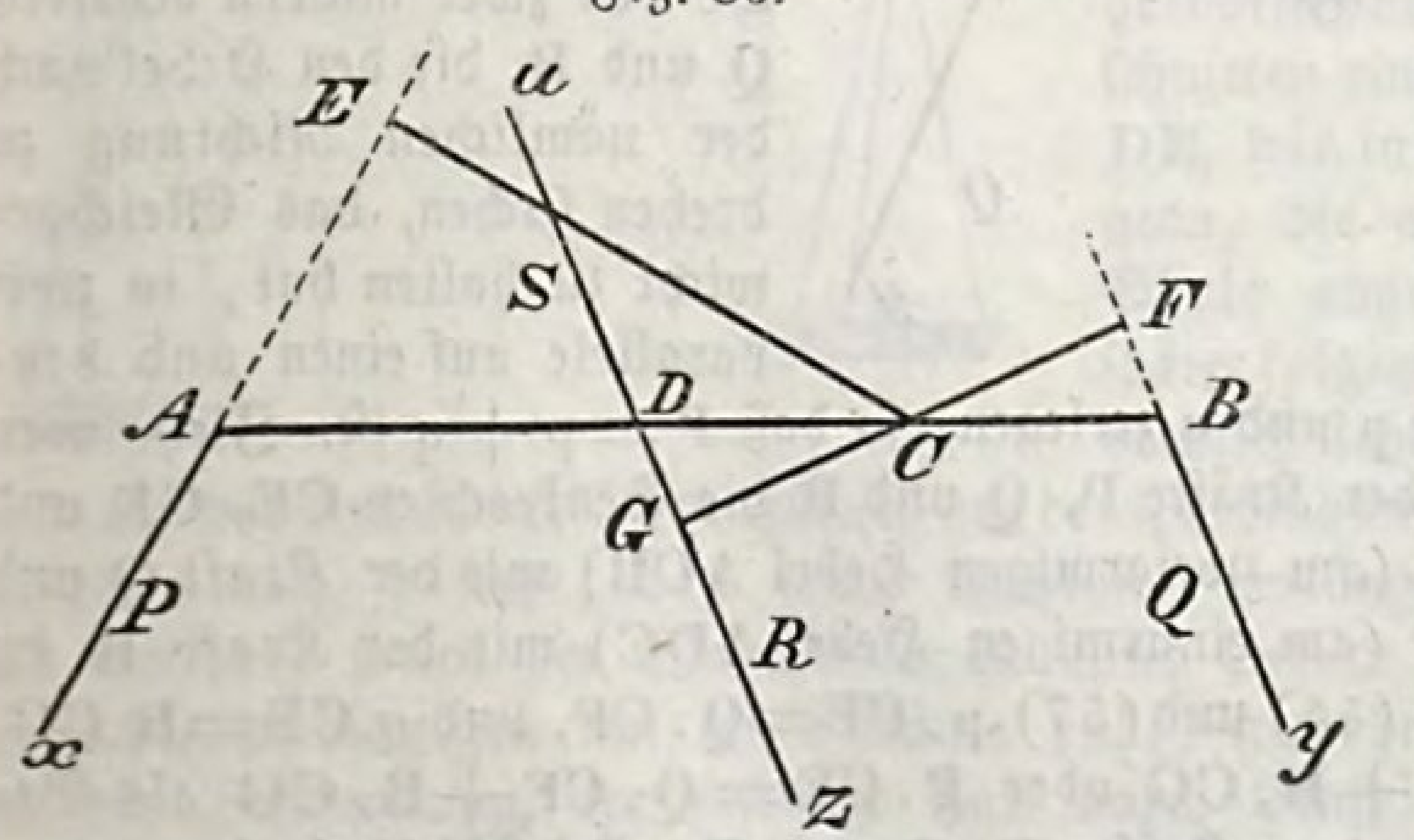
Fig. 85.



Da in dem Falle, wo, wie in Fig. 85 an dem geradlinigen zweiarmigen Hebel **AB**, die Kräfte parallele Richtungen **Ax** und **By** haben, dem eben aufgestellten Satz zu Folge **P** : **Q** = **CE** : **CD** . . . (a) ist (wenn **CE** und **CD** die von **C** auf **By** und **Ax** gezogenen Senkrechten vorstellen), so hat man wegen Aehnlichkeit der Dreiecke **BCE** und **ACD** (in welchen die Winkel an **D** und **E** als Rechte und an **C** als Scheitelwinkel gleich sind) die Proportion **CE** : **CD** = **CB** : **CA**; hieraus und aus (a) folgt die Proportion **P** : **Q** = **CB** : **CA**, und es gilt somit für das Gleichgewicht zwischen Kraft und der ihr parallel wirkenden Last am zweiarmigen geradlinigen mathematischen Hebel auch der Satz, daß sich die Kräfte umgekehrt, wie die Hebelarme verhalten . . . . (b) (wenn man unter Hebelarm den Abstand des Angriffspunktes einer Kraft vom Unterstützungspunkte versteht).

Die unter (55) ausgesprochenen Sätze lassen sich auch umkehren, d. h. so aussprechen: wenn zwei an einem mathematischen zweiarmigen Hebel wirkende Kräfte sich umgekehrt wie die vom Unterstützungspunkte auf ihre Richtungen gezogenen Senkrechten verhalten oder wenn die Momente dieser Kräfte in Bezug auf den Unterstützungspunkt gleich sind, so stehen sie im Gleichgewichte; denn es muß dann die Resultirende der besagten zwei Kräfte durch den Unterstützungspunkt gehen und, da dies ein unbeweglicher Punkt ist, durch seinen Widerstand aufgehoben werden, mithin Ruhe (Gleichgewicht) herrschen . . . . (56)

Fig. 86.

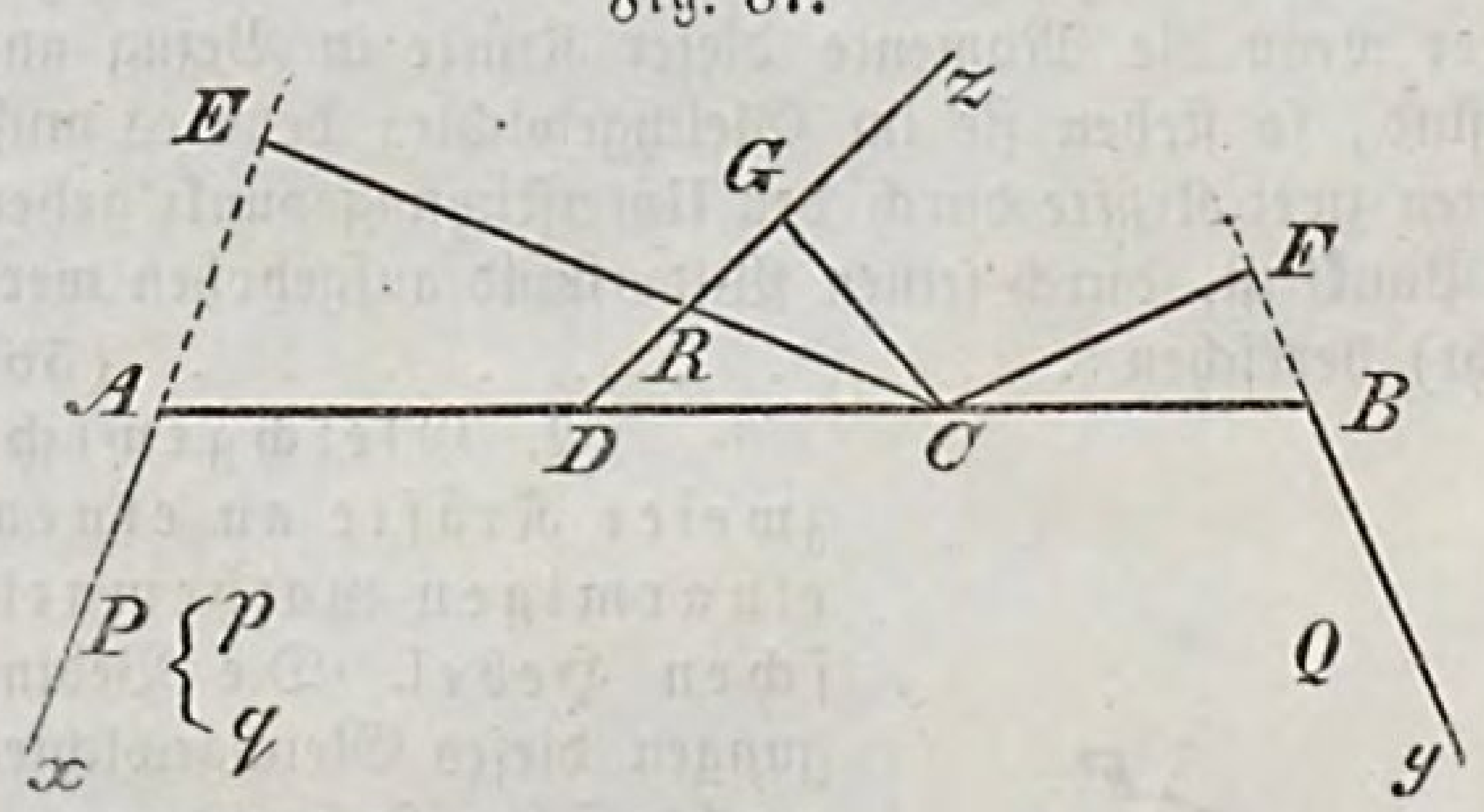


2. Gleichgewicht zweier Kräfte an einem einarmigen mathematischen Hebel. Die Bedingungen dieses Gleichgewichtes ergeben sich einfach, indem man zeigt, wie sich ein zweiarmiger, ungleicharmiger Hebel **AB** (Fig. 86), an welchem zwei in einerlei Ebene nach beliebigen Richtungen **Ax** und **By** wirkende Kräfte **P**, **Q** im Gleichgewicht stehen, ohne Störung dieses

Gleichgewichtes in einen **einarmigen** Hebel verwandeln lasse. Zu diesem Ende bringe man am längern Hebelarme **AC** und zwar an einem Punkte **D**, der gegen den Stützpunkt **C** des Hebels so liegt, daß **DC = CB** ist, zwei gleiche Kräfte **R** und **S** an, die mit **P** und **Q** in einerlei Ebene, nach zur Richtung **By** der Kraft **Q** parallelen und zu einander entgegengesetzten Richtungen **Dz** und **Du** wirken, und wovon jede ebenso groß ist, wie die Kraft **Q**, so daß **Q = R = S** .. (I) ist, wodurch, da **R** und **S** sich selbst das Gleichgewicht halten, offenbar das zwischen **P** und **Q** vorausgesetzte Gleichgewicht nicht gestört wird. Werden nun vom Unterstützungspunkte **C** auf die Richtungen der Kräfte die Senkrechten **CE**, **EF** und **CG** gezogen, so hat man wegen des eben nachgewiesenen Fortbestehens des Gleichgewichtes zwischen **P** und **Q**, **P . CE = Q . CF** . . (II). Da ferner nach (I) **Q = R** und wegen der Congruenz der Dreiecke **BCF** und **DCG** (welche die Winkel bei **G** und **F** als rechte, dann die Winkel bei **C** als Scheitelwinkel und die Seiten **CB** und **CD** gleich haben) **CF = CG** . . . (III) ist, so ist **Q . CF = R . CG**, d. h. die statischen Momente der Kräfte **Q** und **R** in Bezug auf den Unterstützungspunkt **C** sind einander gleich; diese Kräfte müssen daher nach (56) für sich im Gleichgewichte stehen und können als gar nicht vorhanden angesehen werden, so daß dann am Hebel nur noch die Kräfte **P** und **S** übrig bleiben. Da diese Kräfte nicht aufhören, im vorherbestandenen Gleichgewichte zu verbleiben, aber ihre Angriffspunkte **A** und **D** auf der nämlichen Seite des Unterstützungspunktes **C** haben, so ist der ursprüngliche, zweiarmige Hebel **ACB** jetzt ohne Störung des Gleichgewichtes in den einarmigen Hebel **ADC** umgewandelt und an diesem Hebel stehen die Kräfte **P** und **S** für sich im Gleichgewichte. Da dies an obiger Gleichung (II), d. i. **P . CE = Q . CF** nichts ändert, überdies nach Gleichung (I) **Q = S** und nach Gleichung (III) **CF = CG** ist, so geht durch Substitution die Gleichung (II) in **P . CE = S . CG** über, woraus die Proportion **P : S = CG : CE** folgt, d. h. wenn an einem einarmigen mathematischen Hebel zwei Kräfte im Gleichgewichte stehen, so sind (wie beim zweiarmigen) ihre statischen Momente in Bezug auf den Unterstützungspunkt gleich oder die Kräfte verhalten sich umgekehrt wie die Senkrechten, welche vom Unterstützungspunkte auf ihre Richtungen gezogen werden . . . . (57)

3. **Gleichgewichtsbedingung bei einem mathematischen Hebel, wenn auf denselben mehr als zwei Kräfte wirken.** Seien **A**, **B**, **D** (Fig. 87) die Angriffspunkte und **Ax**, **By** und **Dz** die Richtungen dreier auf den Hebel **AB**, dessen Unterstützungspunkt **C** ist, wirkender und mit einander im Gleichgewicht stehender Kräfte **P**, **Q** und **R**, so kann man sich (nach **57**) die Kraft **P**, welche den zwei andern Kräften **Q** und **R**, die den Hebel nach der nämlichen Richtung zu drehen suchen, das Gleichgewicht zu halten hat, in zwei parallele auf einen und denselben Punkt **A** wirkende Kräfte p und q zerlegen, so daß P = p + q ist. Zieht man nun von **C** auf die Richtungen der Kräfte **P**, **Q** und **R** die Senkrechten **CE**, **CF** und **CG** und denkt sich die Kraft p (am zweiarmigen Hebel **ACB**) mit der Kraft **Q** und den andern Theil q der Kraft **P** (am einarmigen Hebel **ADC**) mit der Kraft **R** im Gleichgewichte, so hat man nach (55) und (57) p . **CE = Q . CF**, und q.**CE = R.CG**, folglich (p + q) **CE = Q . CF + R . CG** oder **P . CE = Q . CF + R . CG** als Bedingung des Gleichgewichtes der drei Kräfte **P**, **Q** und **R**. Bei Wiederholung die-

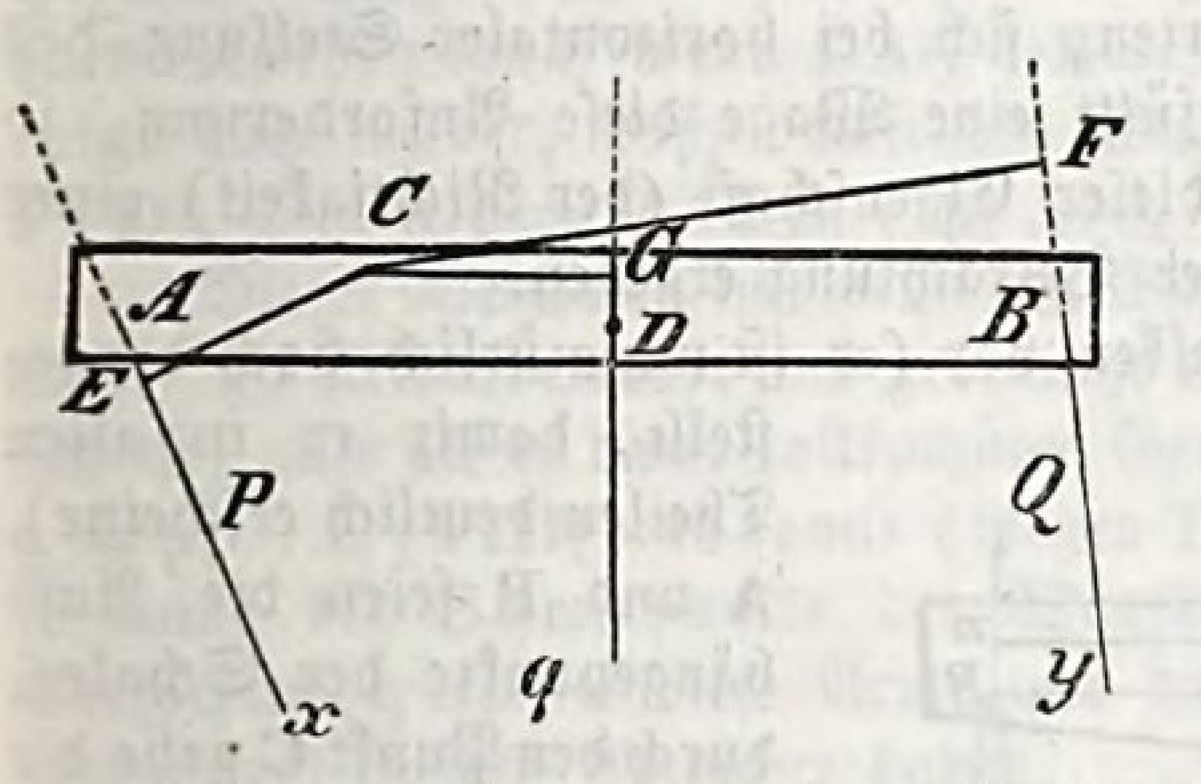
Fig. 87.



ser Schlüsse ergibt sich für das Gleichgewicht einer beliebigen Anzahl auf einen zweiarmigen Hebel wirkender Kräfte der allgemeine Satz: daß die Summe der in Bezug auf den Unterstützungspunkt betrachteten statistischen Momente jener Kräfte, die den Hebel nach einer Richtung zu drehen suchen, immer gleich sein müsse der Summe der statischen Momente der Kräfte, die ihn nach der entgegengesetzten Richtung drehen wollen . . . . (58)

4. Gleichgewicht am physischen Hebel. Der Satz (58) gestattet, die für den mathematischen Hebel nachgewiesenen Gleichgewichtsbedingungen auch auf den physischen Hebel anzuwenden; denn man braucht nur (nach **67**) den Schwerpunkt des Hebels auszumitteln und das Gewicht des letzteren als eine von diesem Schwerpunkte aus in vertikaler Richtung abwärts wirkende Kraft anzusehen, so kann man den Hebel als einen mathematischen betrachten und nach Satz (58) behandeln. So hätte man demnach z. B. als Bedingung des Gleichgewichts der Kräfte **P** und **Q** an der Stange (dem physischen Hebel) **AB** (Fig. 88), die das Gewicht q, den Unterstützungspunkt in **C** und ihren Schwerpunkt in **D** hat, die Gleichung **P.CE = Q.CF + q.CG** wenn **CE**, **CF** und **CG** die vom Unterstützungspunkte **C** auf die Richtungen der Kräfte **P**, **Q** und q gezogenen Senkrechten bedeuten.

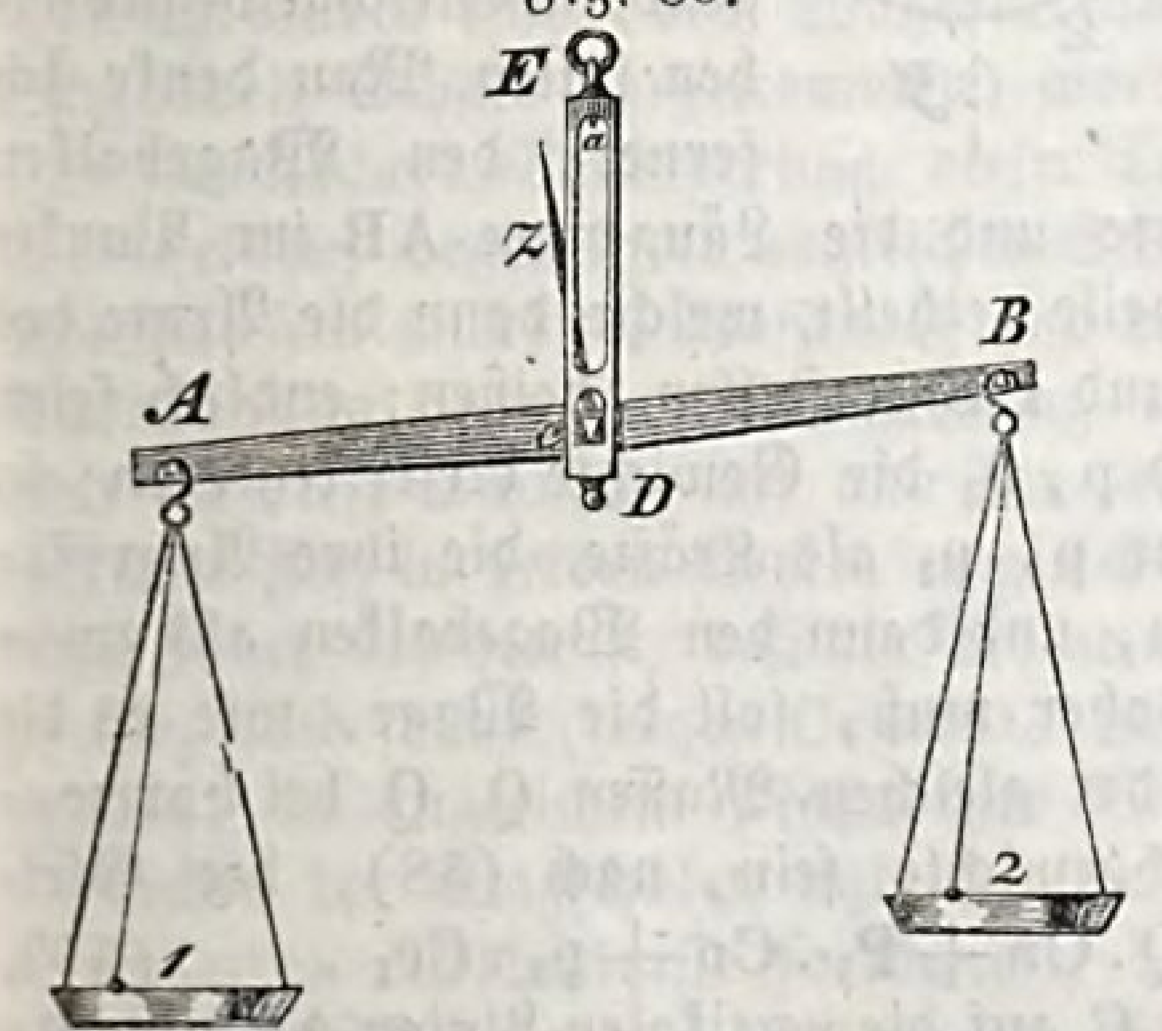
Fig. 88.



Anwendungen des Hebels. Aus der großen Zahl von Instrumenten, Apparaten, Vorrichtungen und Geräthen, denen das Prinzip des Hebels zu Grunde liegt, und die in den Künsten und Gewerben so wie im gemeinen Leben sehr häufige Anwendung finden, sollen hier nur folgende als zugleich für den Physiker wichtig herausgehoben werden, indem die Beschreibung und Theorie aller übrigen der Mechanik anheimgestellt werden muß.

84. Die zweiarmige Wage, auch gemeine Schalenwage oder Krämerwage genannt. Dieselbe besteht im Allgemeinen aus einem gleicharmigen Hebel **AB** (Fig. 89) (Wagebalken genannt), der sich um eine horizontale, in der Mitte seiner Länge angebrachte, unten schneidige Axe c leicht drehen kann und an seinen Enden an geeigneten Aufhängepunkten **A**, **B** Schalen 1, 2 zur Aufnahme des abzuwägenden Körpers und der Gewichte trägt. Die Axe c ruht mit ihren beiderseits aus dem Wagebalken hervorstehenden Enden entweder in Ausschnitten einer vertikal aufgehängten Schere **DE**, wie in Fig. 89, oder in passenden Lagern, die am obern Ende einer vertikalen Säule angebracht sind, wie man in den später folgenden Figuren 96, 100 und 104 deutlich sieht. Ein Zeiger z (Zunge), der in einer auf der Axe c vertikalen Ebene, auf der Verbindungslinie **AB** der Aufhängepunkte senkrecht und so steht, daß seine Richtung verlängert durch die Schneide c geht und welcher, wenn der Wagebalken in einer Schere aufgehängt ist, nach aufwärts, wenn dieser hingegen auf einer Säule ruht, gewöhnlich nach abwärts gekehrt ist, hat die Bestimmung, im ersteren Fall durch Einspielen an einem in der Schere angebrachten Absehen a, im letzteren Falle durch Einspielen am Nullpunkte eines

Fig. 89.

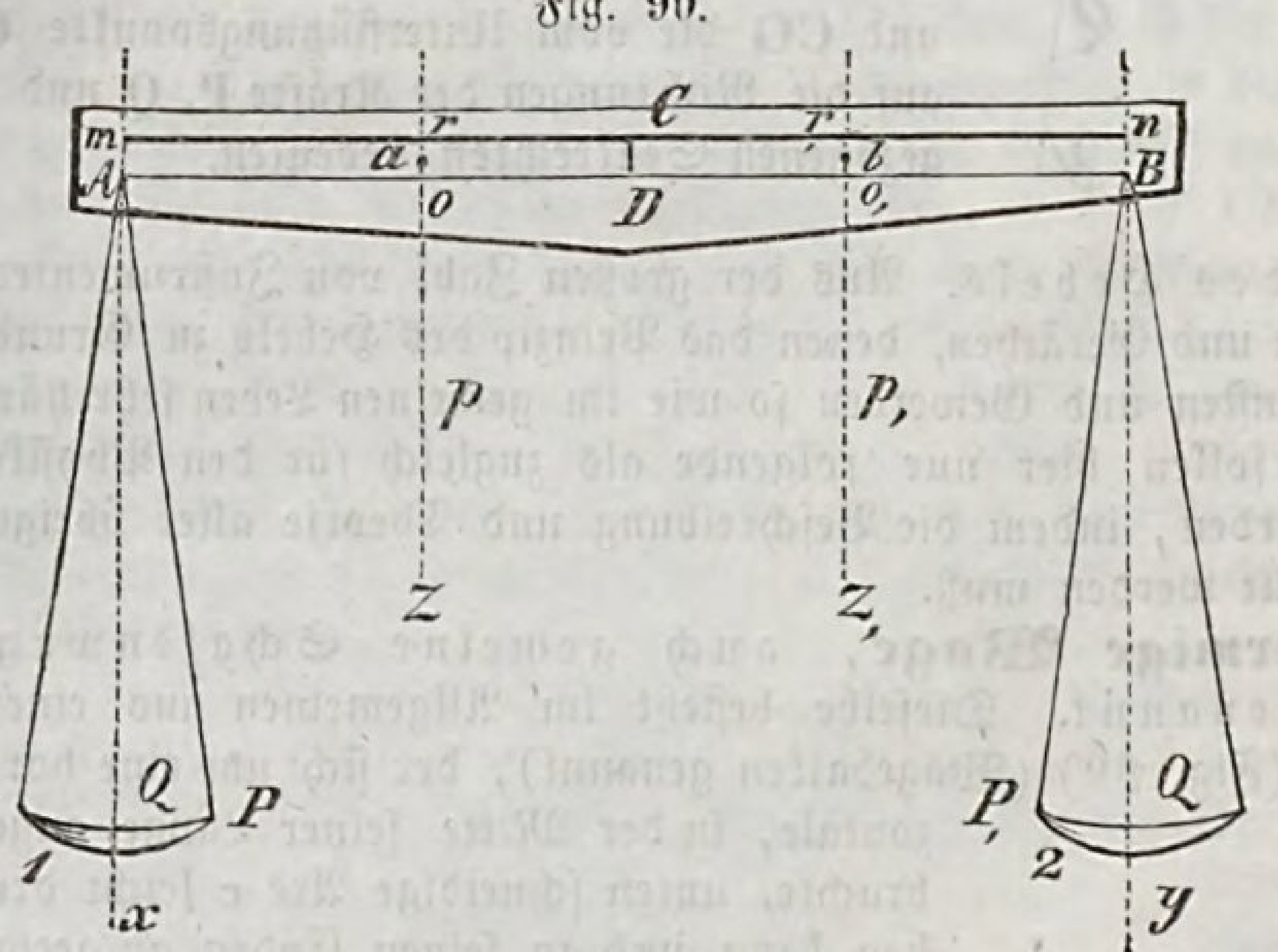


an der Säule angebrachten Gradbogens m (Fig. 96) die vollkommen horizontale Lage der besagten Verbindungslinie **AB** (welche die Längenaxe des Wagebalkens heißt) anzuzeigen. Oft findet man an Wagen mit Stützsäule anstatt der beschriebenen auf- oder abwärts gekehrten Zunge einen in die verlängerte Richtung der Längenaxe **AB** fallenden Zeiger, der an einem oder an jedem Ende des Wagebalkens angebracht ist und auf einem Gradbogen spielt, der mittelst eines bis zur Stützsäule hin sich erstreckenden Armes an dieser festgemacht ist, wie die späteren Fig. 100 und 101 anschaulich machen.

85. Richtigkeit der zweiarmigen Wage. Die erste Anforderung, die an eine zweiarmige Wage gemacht wird, ist, daß, wenn auf beide Schalen Massen von gleichen Gewichten gebracht werden, diese den Wagebalken bei horizontaler Stellung seiner Längenaxe (also so, daß die Zunge oder der Zeiger beim Absehen in der Schere oder beim Nullpunkte des betreffenden Gradbogens genau einspielt) zur Ruhe bringen oder, mit andern Worten, sich bei horizontaler Stellung des Wagebalkens das Gleichgewicht halten. Erfüllt eine Wage diese Anforderung, so heißt sie richtig, und die Bedingungen dieser Eigenschaft (der Richtigkeit) einer zweiarmigen Wage werden sich aus folgender Betrachtung ergeben.

Es stelle **AB** (Fig. 90) einen Wagbalken vor (er ist unnatürlich hoch dargestellt, damit er in allen Theilen deutlich erscheine), **A** und **B** seien die Aufhängepunkte der Schalen, durch den Punkt **C** gehe die Umdrehungsaxe (Drehschneide) des Wagebalkens, **P** sei das Gewicht der Schale **1** sammt den Schnüren oder Dräthen, woran sie hängt, P_1 bezeichne das Nämliche für die Schale **2** und **Q, Q** seien gleiche Massen, die, auf den Wagschalen liegend, im Gleichgewichte stehen sollen. Man denke sich ferner den Wagebalken

Fig. 90.



durch eine längst der Drehschneide **C** geführte und die Längenaxe **AB** im Punkte **D** senkrecht treffende Ebene....(†) in zwei Theile getheilt, welche dann die Arme des Wagebalkens, deren Längen die Linien **DA** und **DB** vorstellen, heißen; endlich seien a, b die Schwerpunkte der beiden Arme und p, p_1 die Gewichte dieser letzteren; so kann man offenbar (nach **65**) diese Gewichte p, p_1 als Kräfte, die ihre Angriffspunkte in den Schwerpunkten a und b haben, und dann den Wagebalken als zweiarmigen mathematischen Hebel behandeln. Daher muß, soll die Wage, wie es die Richtigkeit erfordert, nach Auflegung der gleichen Massen **Q, Q** bei horizontaler Stellung der Längenaxe **AB** im Gleichgewichte sein, nach (58), die Gleichung bestehen $Q.Cm + P.Cm + p.Cr = Q.Cn + P_1.Cn + p_1.Cr_1$ . . . . (59), wenn **Cm** und **Cn** die von dem Drehpunkte **C** auf die vertikalen Linien **Ax** und **By** (nach welchen sowohl die Gewichte **P** und P_1 der Wageschalen als die darin liegenden Massen **Q, Q** auf dem Wagebalken abwärts ziehend wirken) gezogenen Senkrechten (welche daher horizontal und zur Längenaxe **AB** parallel sind) und **Cr**, Cr_1 eben solche von **C** auf die vertikalen Richtungen az, bz_1 der Kräfte p, p_1 gezogene Senkrechte vorstellen. Da nach der oben unter (†) gemachten Voraussetzung die Linie **CD** ebenfalls vertikal, mithin zu den Linien **Ax**, **By**, az und bz_1 parallel ist, so

sind die Linien **Cm** und **AD**, dann **Cn** und **BD** (als Parallele zwischen Parallelen), und aus demselben Grunde auch die Linien **Cr** und **Do**, dann Cr_1 und Do_1 einander gleich, so daß man durch Substitution aus vorstehender Gleichung (59) erhält: $Q.DA + P.DA + p.Do = Q.DB + P_1.DB + p_1.Do_1$ .... (II). Diese Gleichung muß, da die Wage nicht aufhören darf richtig zu sein, wie groß auch immer das Gewicht Q jeder der zwei auf die Wagschalen gebrachten, gleichen Massen sei, für alle möglichen Werthe von Q gelten, was aber bei unverändert bleibendem Gewichte der Schalen und Arme der Wage nur der Fall sein kann, wenn $DA = DB$ .... (III) ist, d. h. wenn die Arme des Wagebalkens eine vollkommen gleiche Länge haben, somit die erste Bedingung der Richtigkeit einer Wage erfüllt ist .... (IV). Denn setzt man $P.DA + p.Do = S$ und $P_1.DB + p_1.Do_1 = T$, so geht die Gleichung (II) über in $Q.DA + S = Q.DB + T$ und hieraus folgt $Q(DA - DB) = T - S$, welche Gleichung für alle möglichen Werthe von Q nur dann bestehen kann, wenn $DA - DB = 0$, also $DA = DB$ ist .... (V). Hiernach folgt aber wieder, daß, damit die Wage richtig ist, auch $T = S$ mithin
$P.DA + p.Do = P_1.DB + p_1.Do_1$ ... (VI) sein müsse.

Dieser Gleichung ist, wenn die Wage für alle Temperaturveränderungen an dem Orte, wo sie aufbewahrt und gebraucht wird, richtig bleiben soll (was doch unerläßlich ist), nur allein dann vollkommen Genüge geleistet, wenn $Do = Do_1$ .... (VII), $p = p_1$ .... (VIII) und somit (wegen $DA = DB$) auch $P = P_1$ .... (IX) ist, d. h. so lange die Schwerpunkte der Wagebalkenarme eine gleiche Entfernung von der Drehschneide, ferner diese Arme und die Wagschalen (Arme und Schalen für sich betrachtet) gleiche Gewichte haben.

Es könnte zwar auch dadurch der Gleichung (VI) entsprochen, mithin eine richtige Wage zu Stande gebracht werden, daß man an ungleichschwere Wagebalkenarme (wo dann die statischen Momente der Schwere dieser Arme daher auch $p.Do$ und $p_1.Do_1$ ungleich groß wären) auch Schalen von ungleichem Gewichte d. h. an den leichtern Arm eine entsprechend gewichtigere Schale hängt. Die Wage würde nämlich auch dann, sowohl im unbelasteten Zustande, als wenn gleiche Gewichte auf den Wagschalen liegen, bei horizontaler Stellung des Balkens zur Ruhe kommen müssen. Allein dies würde nur so lange der Fall sein, als die Temperatur, bei welcher die Wage construirt (d. h. die beschriebene Ausgleichung des geringeren Gewichtes des einen der Wagebalkenarme durch das größere Gewicht der daran hängenden Schale vorgenommen) worden, sich nicht wesentlich ändert. Denn tritt eine merklichere Veränderung dieser Temperatur ein, so rückt in beiden Armen (da in denselben, wegen ihrer ungleichen Schwere bei gleicher Länge, die Materie ungleich vertheilt sein muß) die Masse während der durch die Wirkung der Wärme erfolgenden Ausdehnung oder Zusammenziehung ungleichmäßig von der Drehschneide hinweg oder an diese Schneide an, und der der Masse folgende Schwerpunkt (**67** unter 2) entfernt sich in beiden Armen ungleichmäßig von der Drehschneide. Die nothwendige Folge hiervon ist, daß die Momente der Schwere dieser Arme, d. i. $p.Cr$ und $p_1.Cr_1$ und somit (wegen $Cr = Do$ und $Cr_1 = Dr_1$) auch die Produkte $p.Do$ und $p_1.Do_1$ in ungleichem Maße ihre Werthe ändern, während die Ungleichheit der Gewichte der Wagschalen und demnach der Produkte $P.DA$ und $P_1.DB$ in unveränderten Verhältnisse fortdauert, daher die Gleichung (VI) nicht mehr bestehen kann. Ist hingegen den obigen Gleichungen (VII) und (VIII) Genüge geleistet, — was jedoch nur dann der Fall sein wird, wenn in beiden Armen des Wagebalkens die Materie in gleichen Abständen von der Drehschneide (oder vielmehr von der durch **CD** geführten Vertikalebene) vollkommen gleichförmig und symmetrisch vertheilt ist, — so wird das Weiter- oder Näherrücken der Schwerpunkte a und b gegen die Drehschneide bei allen Temperaturveränderungen, denen zu genauen Wägungen bestimmte Wagen überhaupt ausgesetzt werden dürfen, und vorausgesetzt,

daß diese Veränderungen beide Wagebalkenarme in gleichem Grade treffen, in jedem dieser Arme immer gleichviel betragen; es werden demnach die Abstände der Schwerpunkte a, b von der Drehschneide C immer gleich, mithin $p.Do = p_1.Do_1$ ... (X) sein; folglich wird, wenn auch der Gleichung $P = P_1$ Genüge geleistet, d. h. die Gewichte der Wageschalen gleich sind, stets die Gleichung $p.DA + p.Do = P_1 DB + p_1 Do_1$ gelten. Zur Richtigkeit einer zweiarmigen Wage gehört daher unerläßlich, daß den Gleichungen (III), (VII), (VIII) und (IX) entsprochen sei, d. h. 1. daß die Arme des Wagebalkens gleich lang sind; 2. daß sie ein gleiches Gewicht, die Schwerpunkte in gleichen Entfernungen zu beiden Seiten der Umdrehungsaxe gelegen haben, und in Bezug auf Anordnung und Vertheilung der Materie ganz symmetrisch, d. i. in gleichen Distanzen von der durch CD geführten, auf der Ebene des Wagebalkens senkrechten Ebene ganz gleich beschaffen sind, und 3. daß die Wagschalen gleiche Gewichte haben.

Aus der Nothwendigkeit des Bestehens der Gleichung (VI) folgt weiter, daß bei einer richtigen Wage der Wagebalken auch horizontal stehen müsse, wenn keine Gewichte in den Schalen liegen, d. h. die Wage unbelastet ist, so wie sich ferner aus der Gleichung (X), deren Bestand wir als für die Richtigkeit einer Wage ebenfalls nothwendig nachgewiesen haben, ergibt, daß auch der Wagebalken für sich allein (ohne daß die Schalen daran hängen) stets einen horizontalen Stand annehmen müsse.

Das Horizontalstehen des Wagebalkens, wenn die Wage unbelastet ist, vermag jedoch für sich die Richtigkeit der Wage nicht zu beweisen, indem, wie schon früher bemerkt worden, eine etwa vorhandene Ungleichheit in der Schwere der Wagebalkenarme durch eine entsprechende Ungleichheit in den Gewichten der Wageschalen ausgeglichen sein kann. Ebenso kann das Horizontalstehen des Wagebalkens nach Entfernung der Schalen nur die gleiche Schwere der Balkenarme, keineswegs aber auch die nothwendige gleiche Länge derselben darthun. Beide Erscheinungen liefern daher nicht den Beweis, daß eine Wage richtig sei; wohl wird er aber dadurch vollkommen hergestellt, daß der Wagebalken auch nach Verwechslung der Wageschalen (d. h. nachdem die Wagschale des linken Armes an den rechten und die des rechten an den linken Arm gehängt worden) noch seine frühere horizontale Stellung genau beibehält. Ist dies nämlich der Fall, so können die Arme weder ungleich lang noch ungleich schwer sein; denn sonst könnte eine und dieselbe Schale durch ihr Gewicht an beiden Armen nicht die nämliche Wirkung äußern. Anstatt die Schalen zu verwechseln, kann man auch die Wage durch auf die Schalen aufgelegte Gewichte in horizontaler Stellung zur Ruhe bringen und hierauf untersuchen, ob sie diese Stellung auch nach Verwechslung dieser Gewichte beibehält.

Ob endlich bei einer Wage auch die Bedingung der Richtigkeit, daß beide Arme in Bezug auf Anordnung der Materie symmetrisch seien, erfüllt ist, läßt sich nur durch Auflegen wirklich gleicher Gewichte auf die Wageschalen bei bedeutend verschiedenen Temperaturen erproben. Bleibt der Stand des Wagebalkens immer horizontal, so ist auch diese Bedingung erfüllt. Daß hinsichtlich dieses Punktes in der Praxis eine absolute mathematische Genauigkeit nicht zu erreichen ist, braucht nicht erst erwähnt zu werden.

Es soll hier als Folgerung aus den eben angestellten Betrachtungen noch Nachstehendes hervorgehoben werden. Da nach (VII) und (VIII) $Do = Do_1$ und $p = p_1$ ist, so muß die Resultirende, zu welcher sich die zwei nach vertikalen Richtungen wirkenden Kräfte p und p_1 (die Gewichte der Wagebalkenarme) zusammensetzen lassen, und welche dann das Gewicht des ganzen Wagebalkens vorstellt, ebenfalls eine vertikale Richtung haben und in die längs der Drehschneide C geführte Vertikalebene fallen (59). Da ferner der Angriffspunkt dieser Resultirenden (des Gewichtes des ganzen Wagebalkens) der Schwerpunkt des ganzen Wage-

balkens ist, indem man (nach **65**, 1.) das Gewicht des ganzen Wagebalkens in seinem Schwerpunkte vereinigt denken kann, so muß der Schwerpunkt des horizontalstehenden Wagebalkens einer richtigen Wage in einer längst ihrer Drehschneide geführten vertikalen, mithin in einer auf der Längenaxe der Wage senkrechten Ebene liegen . . . (†), ob oberhalb oder unterhalb dieser Schneide, oder in dieser Schneide selbst, wird die Folge lehren.

Zur Richtigkeit einer Wage gehört endlich noch, daß wenn, wie dies am zweckmäßigsten ist, die Schalen an aufwärtsgekehrten Schneiden aufgehängt sind (etwa wie in Fig. 91 oder in den später folgenden Fig. 97 und 101), diese der Schneide, um welche sich der Wagebalken dreht, genau parallel seien, denn sonst hinge das Moment des in einer Wagschale liegenden Gewichtes, oder mit andern Worten, die Größe der Kraft, womit dieses Gewicht die Wage um ihre Axe zu drehen sucht, auch von der Lage desselben in der Schale ab, d. h. ob es so liegt, daß es durch seinen Zug nach abwärts vorzüglich auf einen Punkt der Aufhängeschneide wirkt, der weniger oder der weiter von der Drehschneide des Wagebalkens entfernt ist, was bei stattfindendem Parallelismus der Aufhängschneiden und der Drehschneide nicht möglich ist, da dann alle Punkte der ersteren von letzterer gleichweit abstehen . . . . (††). Es versteht sich nun von selbst, daß bei Wagen, die solche gegen die Ebene des Wagebalkens senkrechte Aufhängeschneiden haben, je zwei in einer und derselben Vertikalebene gelegene Punkte dieser Aufhängeschneiden als Aufhängepunkte und somit der Abstand solcher zwei Punkte die Längenaxe des Wagebalkens vorstellen können ...(†††), während an Wagen, an welchen, wie in Fig. 92 und 93 anschaulich gemacht ist, die Schalen wirklich nur in einzelnen, mit dem Schwerpunkte des Wagebalkens in einerlei Vertikalebene liegenden Punkten (dort, wo sich nämlich die Schneiden des S=förmigen Hakens a und des Oehres b berühren) aufgehängt sind, der Abstand dieser Aufhängepunkte von einander allein die Längenaxe des Wagebalkens ausmacht.

Fig. 91.



Fig 92.

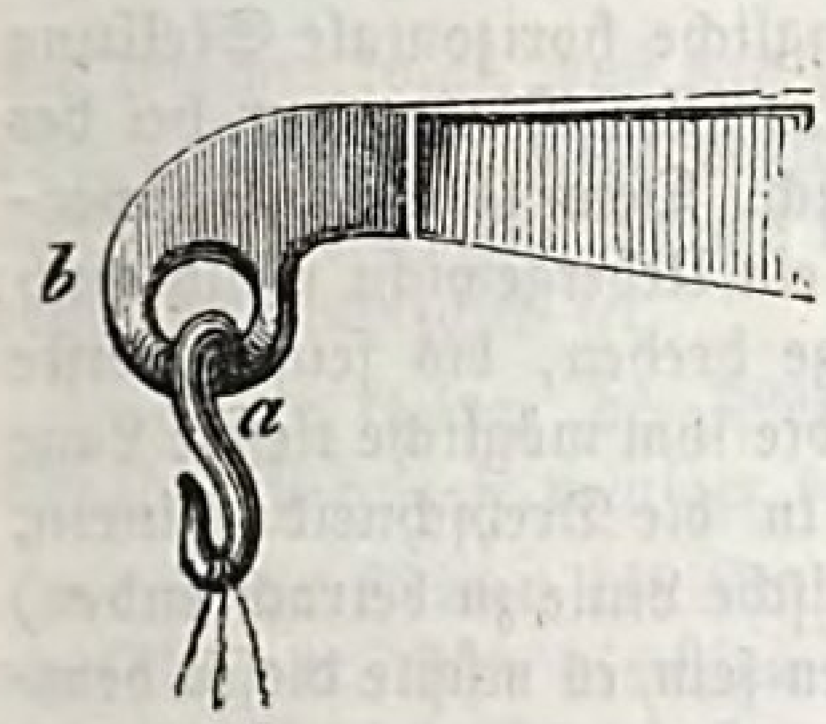
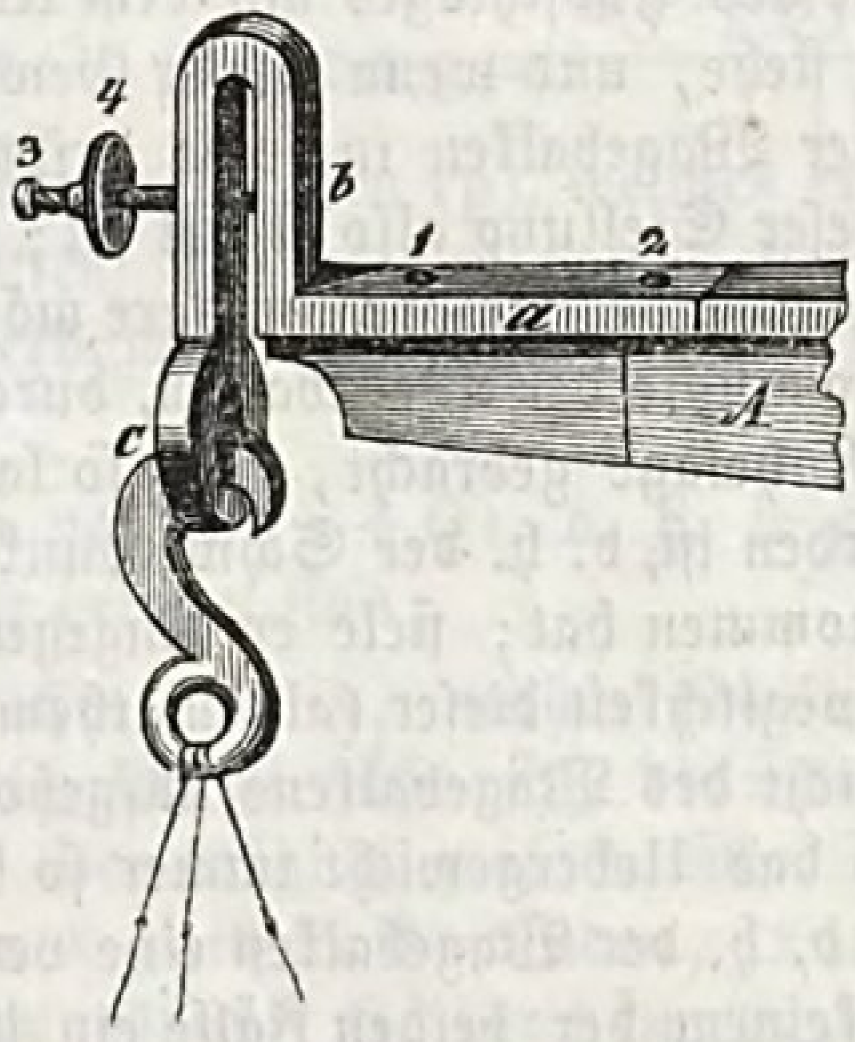


Fig. 93.



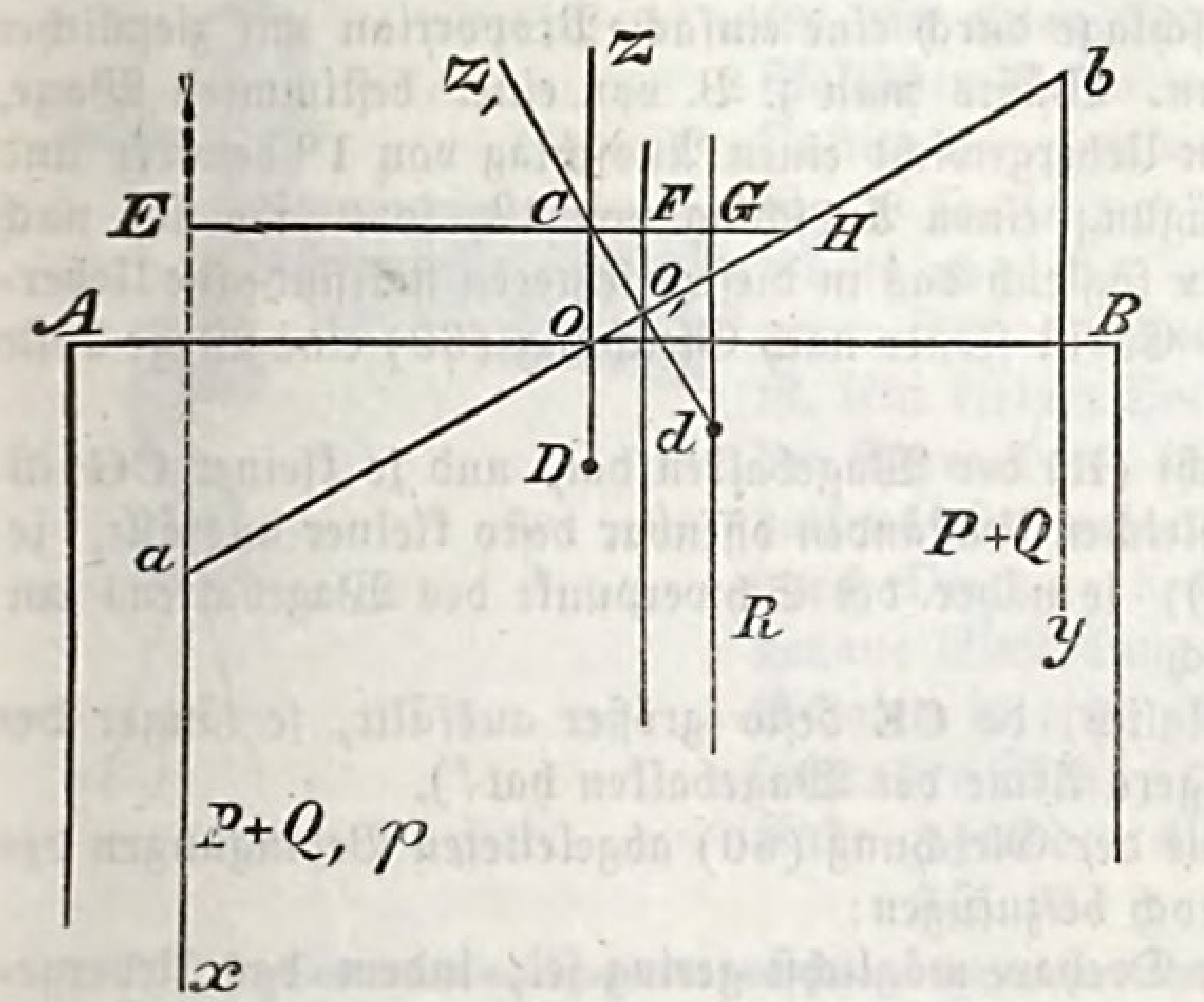
86. Empfindlichkeit der zweiarmigen Wage. Die zweite Haupteigenschaft einer guten zweiarmigen Wage ist, daß sie empfindlich sei, d. h. daß der Wagebalken seine horizontale Lage verläßt und eine geneigte Stellung annimmt (ausschlägt), sobald das in die eine Wageschale gebrachte Gewicht das in der andern auch nur um etwas Weniges übertrifft. Man nennt den Winkel, um welchen der Wagebalken hiebei aus der horizontalen Lage heraustritt, den Ausschlag, und dieser wird bei dem Umstande, daß die Zunge oder der Zeiger immer in der Ebene, die längst der Drehschneide und durch den Schwerpunkt des Wagebalkens, also durch die Linie **DC** Fig. 90 geht, oder aber in der Verlängerung der Längenaxe des Balkens angebracht ist, durch den Bogen angezeigt, um welchen die Zunge oder der Zeiger sich von dem Absehen in der Schere oder von dem Nullpunkte seines Gradbogens ent-

fernt. Je kleiner der Unterschied der Gewichte in beiden Wageschalen ist, welcher stattfinden muß, damit überhaupt noch ein Ausschlag oder ein Ausschlag von bestimmter Größe erfolge (wir wollen diesen Unterschied künftig der Kürze wegen das Uebergewicht nennen), oder je größer bei einem und demselben Uebergewichte der Ausschlag an einer Wage ist, desto empfindlicher heißt diese. Gewöhnlich schätzt man den Grad der Empfindlichkeit einer Wage nach dem noch einen merklichen Ausschlag bewirkenden Bruchtheil der größten Last, welche sie, ohne irgend einen Schaden zu leiden, in beiden Schalen zu tragen vermag und welche die Tragkraft der Wage heißt. Eine gute Wage soll mindestens eine Empfindlichkeit von $^1/_{60000}$ besitzen, d. h. schon bei $^1/_{60000}$ ihrer Tragkraft merklich ausschlagen. Bei Wagen von ausgezeichneter Güte (wie sie Oertling in Berlin, Kusche und Kraft in Wien liefern) beträgt die Empfindlichkeit $^1/_{1000000}$ und darüber. Eine im chemischen Laboratorium des Wiener k. k. polytechnischen Institutes befindliche Wage von Kusche schlägt bei einer Belastung beider Schalen mit 400 Grammen $^1/_{10}$ Milligramm noch deutlich aus, hat also eine Empfindlichkeit von $^1/_{4000000}$.

Die Empfindlichkeit einer Wage hängt vor Allem von der gegenseitigen Lage der Aufhängepunkte der Schalen, des Schwerpunktes und der Drehschneide des Wagebalkens ab. Von dem Schwerpunkte, von welchem wir schon unter (†) S. 119 nachgewiesen haben, daß er sich nur in einer längst der Drehschneide und senkrecht auf die horizontal gedachte Längenaxe des Wagebalkens geführten Ebene befinden könne, läßt sich noch überdies gleich vorhinein sagen, daß er immer unter der Drehschneide liegen müsse. Es wird nämlich von jeder guten Wage nicht nur verlangt, daß sie, wenn in den Schalen ungleiche Gewichte liegen, ausschlage, sondern auch, daß die Größe des Ausschlages mit dem Unterschied der Gewichte in den Schalen im Verhältnisse stehe, und wenn dieser Gewichtsunterschied (das Uebergewicht) entfernt wird, der Wagebalken in seine ursprüngliche horizontale Stellung wieder zurückkehre, in dieser Stellung also stabil sei; dies alles ist aber nur bei der Lage des Schwerpunktes unter der Umdrehungsaxe möglich. Denn läge der Schwerpunkt über der Drehaxe, so müßte der Wagebalken, durch ein Uebergewicht wenn auch noch so wenig aus der Ruhelage gebracht, sich so lange drehen, bis seine oberste Seite zur untersten geworden ist, d. h. der Schwerpunkt die ihm mögliche tiefste Lage unter der Drehaxe angenommen hat; fiele er hingegen in die Drehschneide hinein, so würde durch die Unbeweglichkeit dieser (als mathematische Linie zu betrachtenden) Schneide das ganze Gewicht des Wagebalkens aufgehoben sein, es müßte dieser demnach als schwerlos durch das Uebergewicht immer so lange gedreht werden, bis dieses den untersten Platz, d. h. der Wagebalken eine vertikale Stellung angenommen hat. Es kann daher in keinem der beiden Fälle ein im Verhältnißstehen des Ausschlagwinkels mit der Größe des Uebergewichtes und ebenso wenig ein Zurückkehren des Wagebalkens in die ursprüngliche horizontale Stellung nach Entfernung des Uebergewichtes stattfinden.

Um einzusehen, wie die Empfindlichkeit einer Wage weiter von der relativen Lage der oben bezeichneten Punkte abhängt, seien (mit Bezug auf das S. 119 unter (†), (††) und (†††) Gesagte) **A**, **B** (Fig. 94) die in einem senkrecht auf die Umdrehungsaxe und durch den Schwerpunkt des Wagebalkens geführten Schnitte gelegenen Aufhängepunkte der Schalen, **C** sei der Durchschnittspunkt der Umdrehungsschneide, **D** der Schwerpunkt des in horizontaler Stellung ruhenden Wagebalkens, **Cz** die Zunge, **P** und **P** seien die gleichen Gewichte der Schalen (sammt Schnüren), **Q** und **Q** zwei auf den Schalen liegende gleichgewichtige Massen), **R** das Gewicht des Wagebalkens und p ein kleines Gewichtchen, welches, zur Belastung der in **A** aufgehängten Wagschale hinzugegeben, den Wagebalken so aus der horizontalen Lage herausbringt, daß seine Längenaxe **AB** in die Stellung ab, und sein Schwerpunkt nach d kömmt, somit ein Ausschlag zCz_1 bewirkt wird. Da die

Fig. 94.



Gewichte der Schalen und der darauf liegenden Massen als von den Punkten **A** und **B** aus vertikal abwärts wirkende Kräfte betrachtet werden können und ebenso das Gewicht **R** des Wagebalkens als eine den Schwerpunkt **D** vertikal abwärts ziehende Kraft anzusehen ist, da ferner die Summe der von a nach x wirkenden Kräfte, nämlich **P+Q**, gleich ist der Summe der von b nach y wirkenden gleichen Kräften **P** und **Q**, somit die Resultirende, zu der sich diese zwei Kräfte **P+Q** und **P+Q** zusammensetzen lassen, zu Folge **59'** der Größe nach $= 2\,(P+Q)$ sein muß, und auf dem Halbirungspunkte O_1 der Längenaxe ab als Angriffspunkt wirksam gedacht werden kann, so besteht, wenn **CE**, **CF** und **CG** die von dem Umdrehungspunkte auf die Richtungen der betreffenden Kräfte gezogenen Senkrechten vorstellen, nach (58) auf S. 115 für den Zustand des Gleichgewichtes der Wage in der schiefen Stellung ab die Gleichung

$$p.CE = 2\,(P+Q)\,CF + R.CG \ldots (a) \text{ oder } p = \frac{2(P+Q)\,CF + R.CG}{CE} \quad . \quad . \quad (60)$$

aus welcher folgt, daß das Uebergewichtchen (p), welches erforderlich ist, damit eine Wage um irgend einen bestimmten Winkel (zCz_1) (daher auch, da dieser Winkel noch so klein sein kann, überhaupt) ausschlage, desto kleiner mithin die Wage desto empfindlicher sei,

1. je kleiner der Werth von 2 (**P+Q**), d. h. je geringer das Gewicht der Schalen ist und je weniger diese belastet sind;

2. je kleiner die Senkrechte **CF** ist, mithin (da diese offenbar desto kürzer ausfällt, je kürzer die Linie CO_1 ist) je näher sich die Drehschneide an der Längenaxe des Wagebalkens befindet. Den möglich größten Grad der Empfindlichkeit besitzt daher eine Wage unter übrigens gleichen Umständen, wenn **CF=o** ist, d. h. die Drehschneide durch den Halbirungspunkt O_1 der Längenaxe (den sogenannten Mittelpunkt des Wagebalkens) geht, oder mit andern Worten, wenn die Drehschneide und die Aufhängschneiden in einer und derselben Ebene liegen. In diesem Falle ist zugleich, da für **CF = o** auch 2 (**P + Q**) **CF = o** wird, **P** und **Q** mögen was immer für Werthe haben, die Größe des zu einem gewissen Ausschlag erforderlichen Uebergewichts (p) unabhängig von der Belastung des Wagebalkens, die Wage ist daher für alle Belastungen (natürlich innerhalb der Gränze ihrer Tragkraft) gleich empfindlich, und gibt bei allen diesen Belastungen für ein bestimmtes Uebergewicht immer einerlei Ausschlag, welcher der Größe des Uebergewichtes fast genau proportional ist*), so daß, wenn man die Größe des zur Erzeugung eines gewissen

---

*) Es geht nämlich, wegen $2(P+Q)\ CF = o$, die Gleichung (60) in $p = \frac{R\,.\,CG}{CE}$ über. Wenn ferner, der Voraussetzung zu Folge, die Drehschneide und der Mittelpunkt des Wagebalkens, also die Punkte C und O_1 zusammenfallen, so wird $CG = Cd\,.\,\sin.\ DCd$, also auch $= Cd\,.\,\sin.\ zCz_1$ und aus CE wird eine Linie, die gleich ist der Länge des Wagebalkenarmes O_1a multiplicirt mit dem Cosinus eines dem Ausschlage zCz_1 gleichen Win-

Ausschlages nöthigen Uebergewichtes kennt, die Größe des Uebergewichtes bei irgend einem andern stattfindenden Ausschlage durch eine einfache Proportion mit ziemlicher Sicherheit ermittelt werden kann. Wüßte man z. B. von einer bestimmten Wage, daß an derselben ½ Milligramm Uebergewicht einen Ausschlag von 1^0 bewirkt und man erhielte bei irgend einer Wägung einen Ausschlag von 4^0, so ergäbe sich nach der Proportion $1^0 : 4^0 = \frac{1}{2} : x$ sogleich das in diesem letzteren stattfindende Uebergewicht $x = 2$ Milligramme. — Es ist ferner nach Gleichung (60) eine Wage desto empfindlicher,

3. ein je geringeres Gewicht (**R**) der Wagebalken hat, und je kleiner **CG** ist mithin (da **CG** unter übrigens gleichen Umständen offenbar desto kleiner ausfällt, je kürzer die Linie **Cd** oder **CD** ist), je näher der Schwerpunkt des Wagebalkens an der Umdrehungsaxe liegt; endlich

4. je größer **CE** ist, folglich, da **CE** desto größer ausfällt, je länger der Wagebalkenarm aO_1 ist, je längere Arme der Wagebalken hat*).

Den eben besprochenen, aus der Gleichung (60) abgeleiteten Bedingungen der Empfindlichkeit einer Wage ist noch beizufügen:

5. daß die Reibung an der Drehaxe möglichst gering sei, indem das Uebergewichtchen (p), um einen Ausschlag zu bewirken, auch diese überwinden, daher in gleichem Maße wie diese größer sein muß.

87. Construction und Gebrauch der zweiarmigen Wage. Aus den im Vorstehenden erwiesenen Eigenschaften, die eine gute Wage besitzen muß, ergibt sich nun (unter Beziehung auf die Bedingungen der Richtigkeit einer solchen Wage unter 1., 2., 3. auf S. 118 und ihrer Empfindlichkeit unter 1. bis 5. auf S. 121 und 122) die nähere Einrichtung derselben und das bei ihrem Gebrauche zu beobachtende Verfahren von selbst.

Zu 1. und 2. S. 118. Damit die gleichlang gemachten Arme des Wagebalkens selbst unter der größten Belastung, für welche die Wage bestimmt ist, sich nicht biegen und dadurch nicht die Gleichheit ihrer Längen einbüßen, muß der Wagebalken aus festem Materiale (Metall) und entsprechend massiv verfertigt werden; darf jedoch durchaus nicht massiver sein, als es der eben bezeichnete Grad der nöthigen Festigkeit erfordert, weil sonst gegen die Bedingung 3. S. 122, nämlich, daß der Wagebalken ein möglichst geringes Gewicht habe, gesündiget würde.

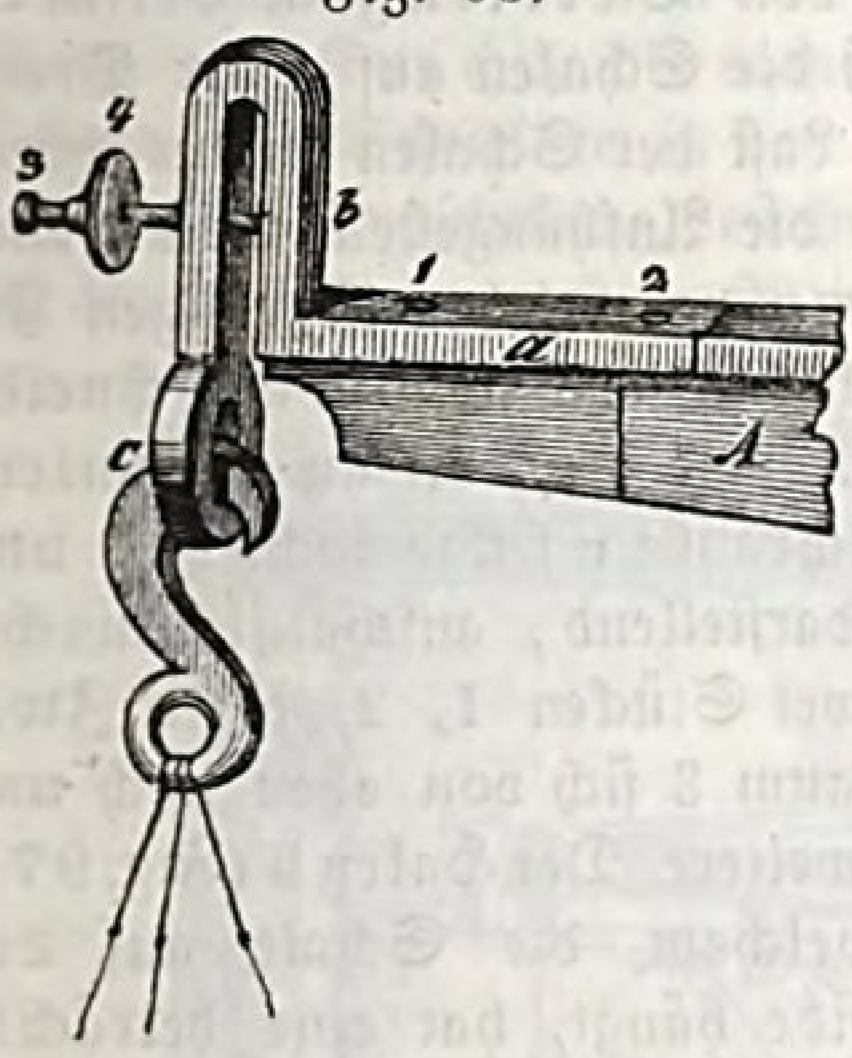
Zum Behuf der sichern Herstellung völlig gleicher Länge der Wagebalkenarme (d. i. gleichen Abstandes der Aufhängepunkte oder Aufhängeschneiden der Schalen von der Drehschneide) ist bei genauen Wagen an den Enden der Arme eine eigene Vorrichtung vorhanden. Sind die Schalen in der durch (Fig. 95) anschaulich gemachten Weise aufgehängt, — wie dies bei der in nachstehender Fi-

---

kels, so daß man $CE = O_1a \cos. zCz_1$ hat. Substituirt man nun diese für CG und CE gefundenen Werthe in der Gleichung $p = \frac{R.CG}{CE}$ so erhält man $p = \frac{R.Cd}{O_1a}$ tang. zCz, d. h. die Größe des Uebergewichtchens (p) ist immer der Tangente des Ausschlagwinkels zCz, und mithin für kleine Ausschlagwinkel (für welche die Tangenten den zugehörigen Bögen gleich angenommen werden können) diesen Winkeln selbst proportional, wie groß auch immer das Gewicht R des Wagebalkens, der Abstand Cd seines Schwerpunktes von der Drehschneide und die Länge O_1a seiner Arme sein mag.

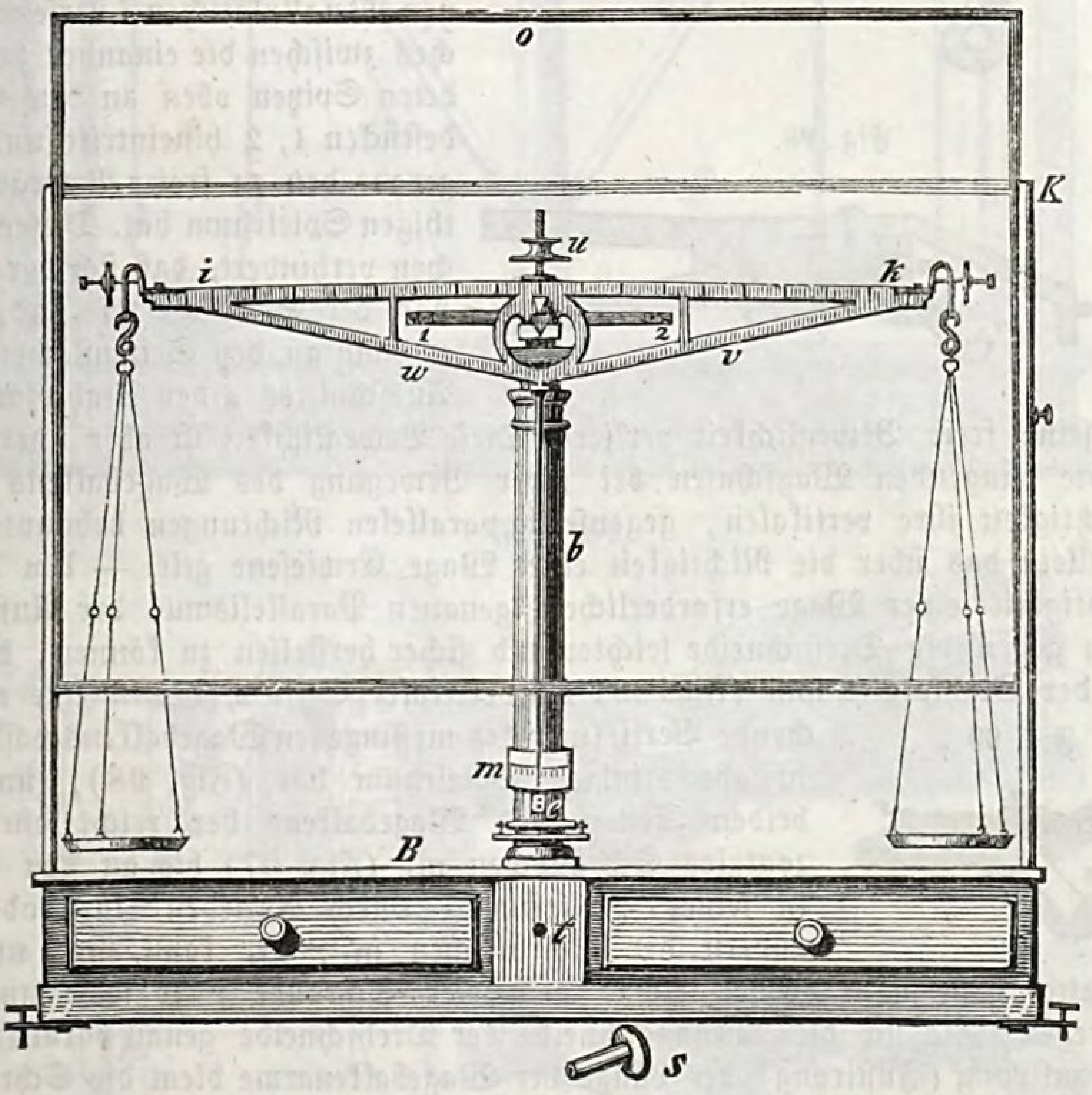
*) Die in den Punkten 2., 3. und 4. vorausgesetzte Proportionalität zwischen CF und CO_1, CG und Cd, dann zwischen CE und aO_1 erhellet aus der bloßen Anschauung von Dreiecken, und zwar des Dreieckes dCG, worin wegen des Parallelismus von O_1F und dG, CF und CG in denselben Verhältnissen wie CO_1 und Cd wachsen müssen, und ferner des Dreiecks EHa, in welchem wegen des Parallelismus von aE und O_1F die Seite EF oder die (wegen des geringen Abstandes der Punkte C und O_1 von einander) ihr als gleich zu betrachtende Linie EC in dem nämlichen Verhältnisse zunimmt wie aO_1.

Fig. 95.



gur 96 auch mit allen andern Theilen abgebildeten, in ihren Leistungen ausgezeichneten, im physikalischen Kabinete des Wiener k. k. polytechnischen Instituts vorhandenen Kraft'schen Wage der Fall ist; — so dient zu dem besagten Zweck der stählerne Bügel abc, der am Ende eines jeden der messingenen Arme A mittelst Schrauben 1, 2 festgemacht ist. Ein kleiner Spielraum, welcher im Bügelstücke a der Schraube 2 in einer auf die Ebene des Wagebalkens senkrechten Richtung gelassen ist, gestattet durch Drehung des Bügels um die Schraube 1 eine genaue Einstellung der Aufhängepunkte c der beiden Schalen in eine und dieselbe auf der Drehschneide senkrechte Ebene; die Schraube 3, die sich mit ihrem Ende gegen den Bügeltheil b stemmt, erlaubt durch

Fig. 96.



stärkeres oder geringeres Oeffnen der Schenkel b, c des Bügels die Punkte c, c in dieser Ebene der Drehschneide etwas zu nähern oder von ihr zu entfernen; die Schraube 1 endlich gestattet das Heben oder Senken der Aufhängepunkte c, c, um sie entweder mit der Drehschneide in einerlei Ebene oder diese Schneide in gehörige Entfernung gegen die Verbindungslinie dieser Punkte (der Längenaxe des Wagebalkens) bringen zu können. Das ränderirte Scheibchen 4, welches sich auf der Schraube 3 hin- und herschrauben läßt, dient zur Regulirung des Momentes der Schwere und der Lage des Schwerpunktes des betreffenden Wagebalkenarmes nach Anforderung der Gleichung (VII) und (VIII) auf Seite 117 und der Bedingung 2. S. 118.

Eine sehr zweckmäßige, zuerst bei den Wagen von Oertling in Berlin in Ausführung gebrachte Einrichtung für den Fall, daß die Schalen auf, zur Drehschneide parallelen Schneiden hängen (was, da hier die Last der Schalen sammt ihrem Inhalte auf mehrere Aufhängepunkte vertheilt, somit die Aufhängestelle weit weniger abgenützt wird, dem vorigen Aufhängesystem immer vorzuziehen ist) zeigen Figur 97 und 98 in perspectivischer Ansicht und im Durchschnitte. Die Aufhängschneide der Schale bildet das prismatische Ende **m** einer Stahlplatte **lom**, die an der untern Seite des messingenen Wagebalkens **A** mittelst der Schraube **r** festgemacht ist, und besteht, wie Fig. 99, die Stahlplatte **lom** für sich darstellend, anschaulich macht, aus zwei Stücken **1**, **2**, deren Zwischenraum 3 sich von oben nach unten erweitert. Der Haken h (Fig. 97), mit welchem die Schale auf der Schneide hängt, hat eine beträchtliche Breite und ist in der Mitte innerhalb seines Buges mit einem dünnen Metallplättchen **i** versehen, welches zwischen die einander zugewendeten Spitzen oben an den Schneidestücken **1**, **2** hineintritt und darin gerade den zu freier Bewegung nöthigen Spielraum hat. Dieses Plättchen verhindert, daß sich der Haken nach der Seite verrücke und, indem er dann an den Seitenflächen **c** des Ausschnittes **a** der Stahlplatte **lom** streift, seine freie Beweglichkeit verliere. Diese Beweglichkeit ist aber unerläßlich, damit die hängenden Wagschalen bei jeder Bewegung des Wagebalkens immer mit Leichtigkeit ihre vertikalen, gegenseitig parallelen Richtungen behaupten, für welche allein das über die Richtigkeit einer Wage Erwiesene gilt. — Um den für die Richtigkeit einer Wage erforderlichen, genauen Parallelismus der Aufhängeschneiden gegen die Drehschneide leichter und sicher herstellen zu können, befindet sich auf der Stahlplatte **lom** (Fig. 99) ein vertikaler Stift **s**, der in eine entsprechende Vertiefung des messingenen Wagebalkens paßt, darin aber einigen Spielraum hat (Fig. 98), und von beiden Seiten des Wagebalkens her reicht ein horizontales Schräubchen m_1 (Fig. 97) bis an den Stift **s** in seiner Vertiefung. Durch Anziehen eines oder des andern der Schräubchen m_1, m_1 kann man nun die Stahlplatte **lom** nach vorher etwas gelüfteter Schraube **r** so weit um diese herumdrehen, bis sich die Aufhängschneide der Drehschneide genau parallel zeigt. Zur Regulirung (Justirung) der Länge der Wagebalkenarme dient die Schraube **n** (Fig. 98 und 99), deren Muttergewinde in dem messingenen Wagebalken eingeschnitten ist, und die mit ihrem untern Theil zugleich in eine Vertiefung der Stahlplatte **lom** eingreift. Diese Vertiefung enthält kein Gewinde und läßt an den Seiten der Schraube **n** etwas Spielraum. Wird nun die Schraube **r**, die nach der Länge des Wagebalkens in der Stahlplatte **lom** gleichfalls einen kleinen Spielraum hat (wie Fig. 98 zeigt), etwas gelöst, so kann durch Drehen der Schraube **n** an ihrem aus dem Wagebalkenende hervorragenden, mit einem Einschnitte versehenen Theile die Stahlplatte mit der Aufhängschneide der Drehschneide so weit genähert oder von ihr entfernt werden, bis die gleiche Länge der Wagearme hergestellt ist. Die Scheibe 4 an der Schraube 5 endlich hat die nämliche Bestimmung, wie das Scheibchen 4

Fig. 97.

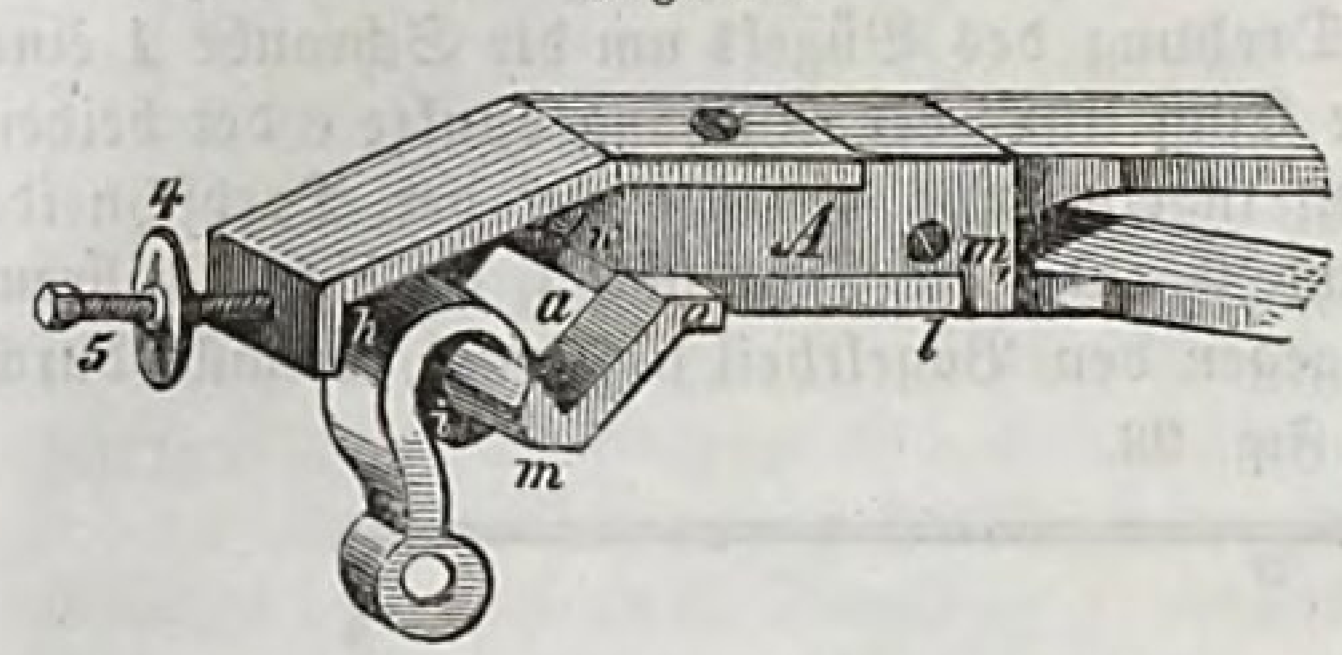


Fig. 98.

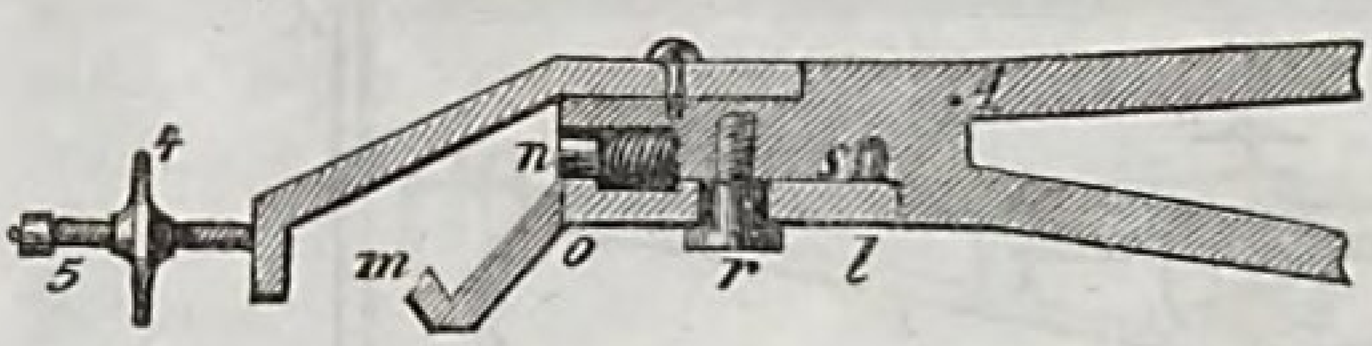
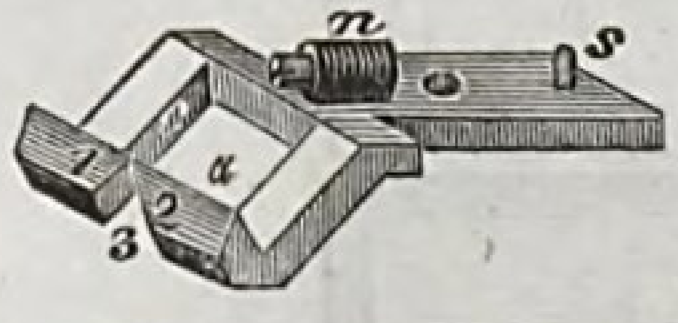


Fig. 99.



an der Schraube 3 in Fig. 95. Bei der auf S. 120 erwähnten, so äußerst empfindlichen Wage von Kusche, die man in Fig. 100 abgebildet sieht, ist die Aufhängung der Schalen auf Schneiden in der durch Fig. 101 anschaulich gemachten Art bewerkstelligt. a ist die Aufhängschneide, bestehend aus einem glasharten rechtwinkligen Prisma, welches die Kante (k) am rechten Winkel nach aufwärts kehrt, von unten her mittelst einer in

Fig. 100.

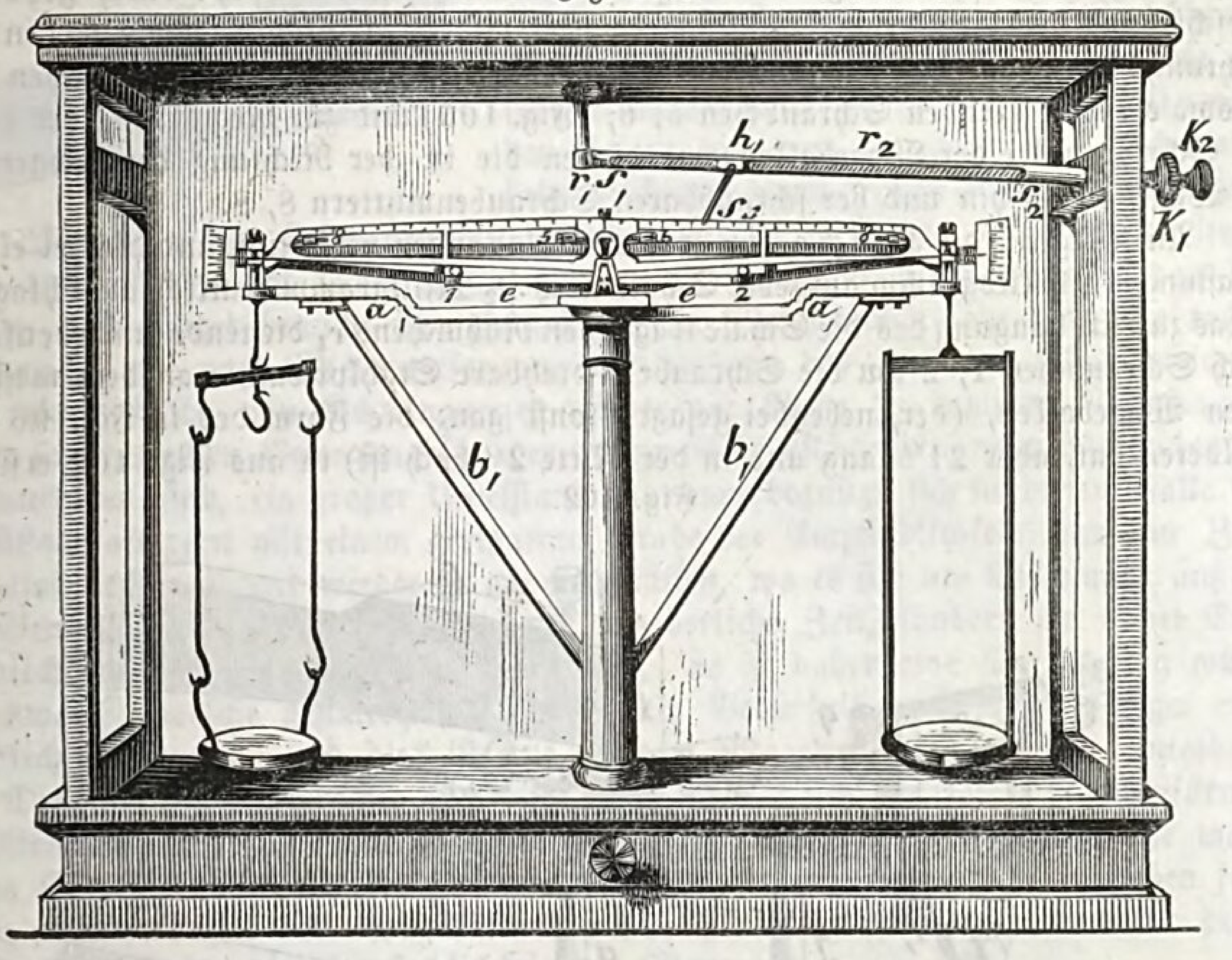
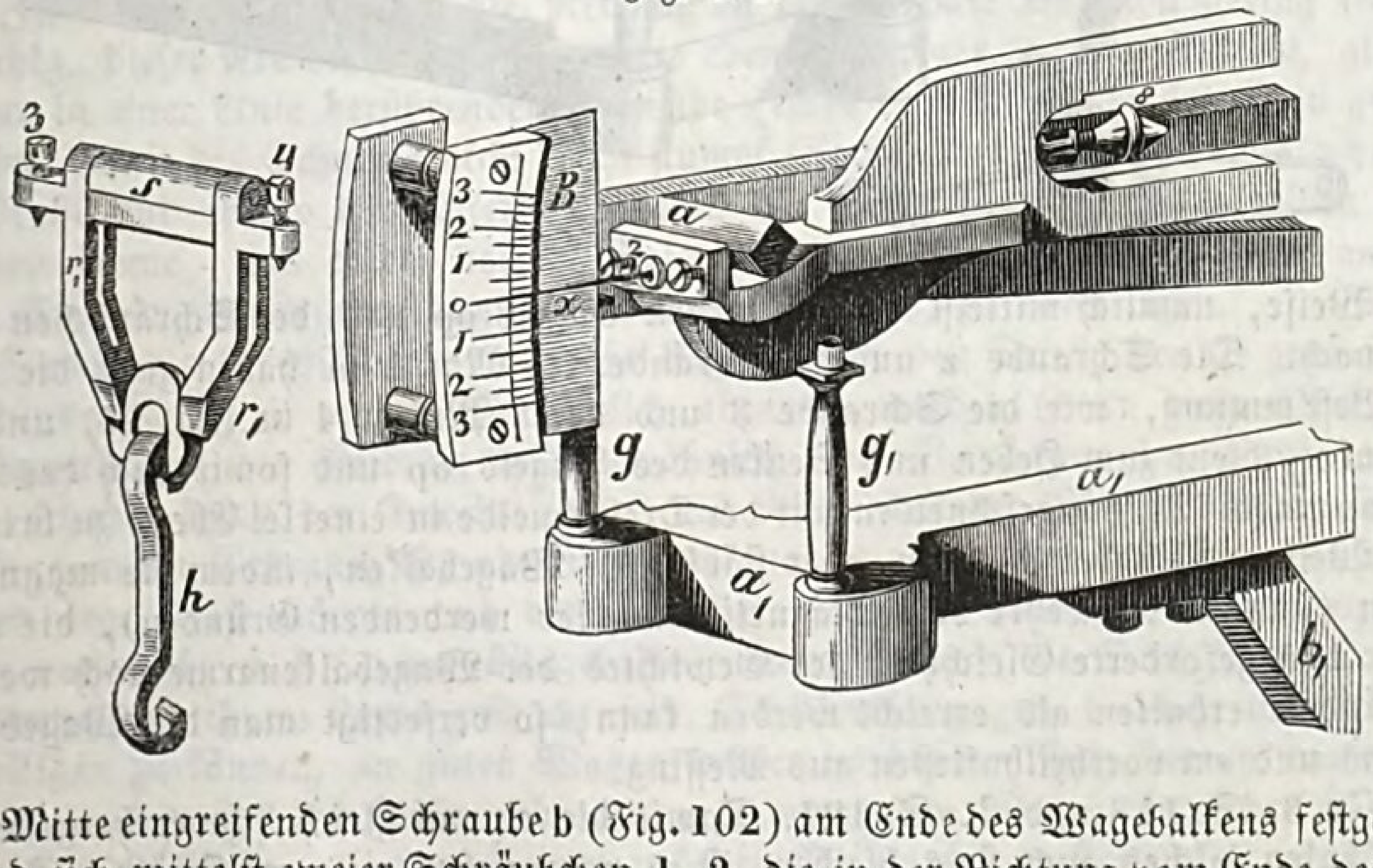


Fig. 101.

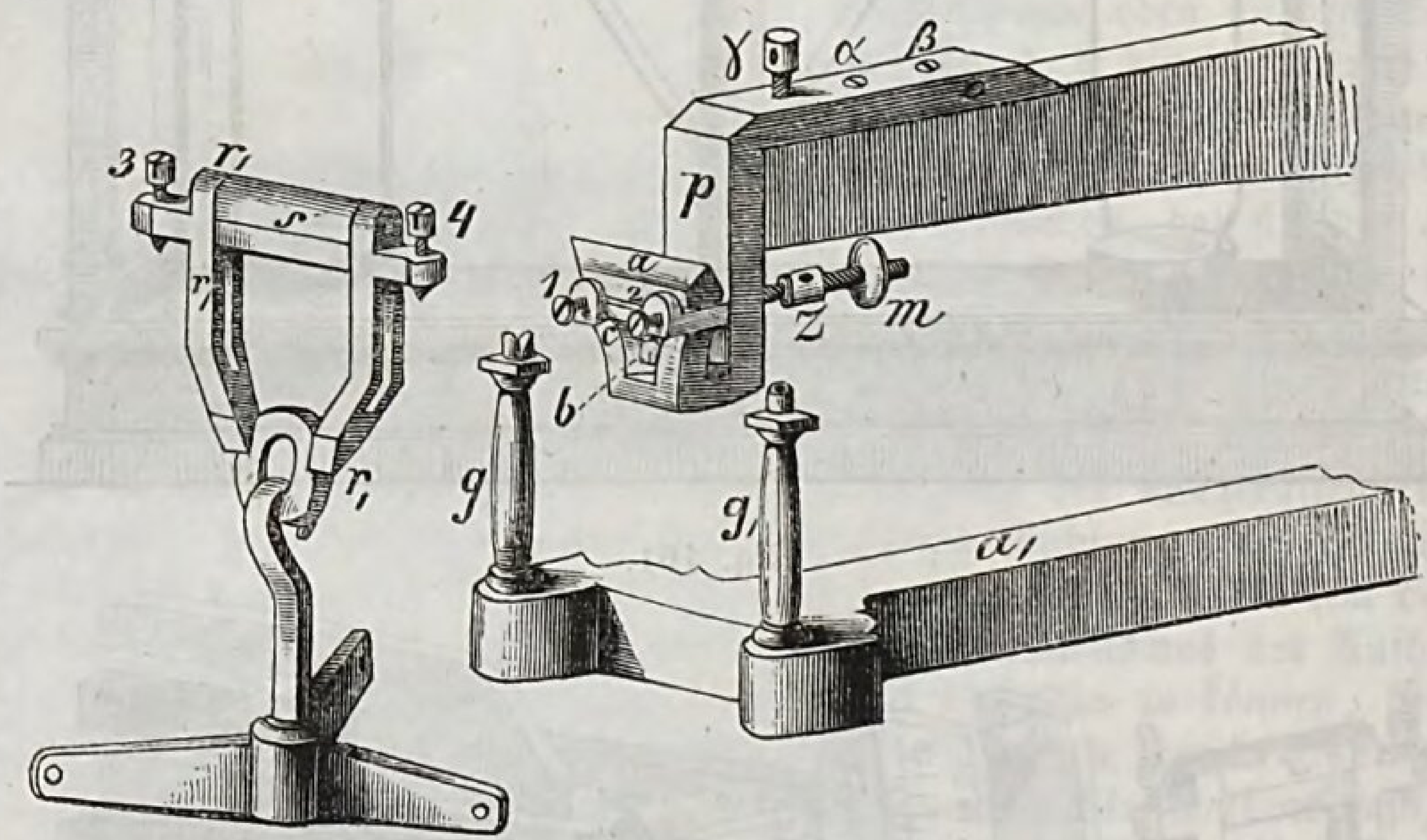


seine Mitte eingreifenden Schraube b (Fig. 102) am Ende des Wagebalkens festgemacht ist und sich mittelst zweier Schräubchen 1, 2, die in der Richtung vom Ende des Wagebalkens gegen dessen Mitte hin, auf die Enden des Prisma's so wirken, daß dieses durch entsprechendes Vor- oder Rückwärtsschrauben der besagten Schräubchen um die Schraube b so lange sehr fein gedreht werden kann, bis seine Kante (k) der Kante der prismatischen Drehschneide des Wagebalkens genau parallel steht. Das messingene Rähmchen r_1, das die an seinem Untertheile in einem Oehr mittelst eines

stählernen Hakens h aufgehängte Wagschale trägt, liegt auf der Schneide des Prisma's a ihrer ganzen Länge nach mit einem im gewölbten Obertheile s des Rähmchens r_1 eingesetzten ganz ebenen Achat- oder anderen sehr harten Steinplättchens auf. Die Schräubchen 3, 4 dienen zum Arretiren und zum Abheben der Schalen von ihren Aufhängeschneiden, wie später näher besprochen werden wird. Die Herstellung der gleichen Länge der Wagebalkenarme bewirkt Kusche durch gehörige Verschiebung des die Drehaxe des Wagebalkens bildenden Stahlprisma's (p) in der Richtung der Länge des Wagebalkens mittelst der zwei, auf die Seitenflächen des Prisma's (p) wirkenden Schräubchen 5, 6, (Fig. 100) und zur Regulirung der Lage der Schwerpunkte der Wagebalkenarme dienen die in der Richtung der Längenaxe des Wagebalkens hin und her schraubbaren Schraubenmuttern 8, 8.

An Wagen, die Kusche für größere Belastungen verfertigt, und die bei einer Belastung mit 1 Kilogramm auf jeder Schale noch $\frac{1}{2}$ Milligramm deutlich ausschlagen, ist das zur Aufhängung des die Schale tragenden Rähmchens r_1 dienende und ebenfalls durch Schräubchen 1, 2 um die Schraube b drehbare Stahlprisma a an dem messingenen Wagebalken, (der, nebenbei gesagt, sonst ganz die Form des in Fig. 96 abgebildeten hat, aber 21″ lang und in der Mitte 2″ hoch ist) in aus Fig. 102 ersicht-

Fig. 102.



licher Weise, nämlich mittelst des stählernen Bügels op und der Schräubchen α, β festgemacht. Die Schraube z und deren ränderirte Mutter m haben ganz die nämliche Bestimmung, wie die Schraube 3 und deren Mutter 4 in Fig. 95, und die Schraube γ dient zum Heben und Senken des Bügels op und somit auch des Prisma's a, um die Aufhängeschneiden mit der Drehschneide in einerlei Ebene zu bringen.

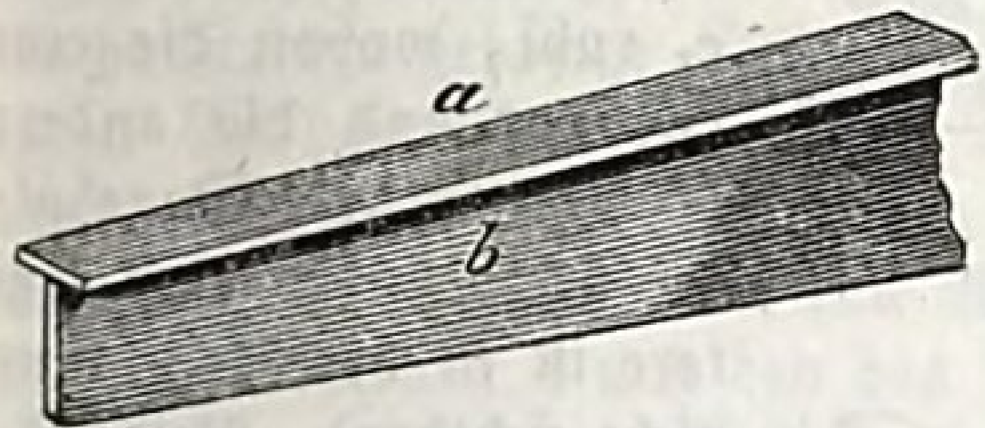
Weil endlich bei eisernen oder stählernen Wagebalken, indem sie magnetisch werden (aus in der Lehre vom Magnetismus klar werdenden Gründen), die unter 2. S. 118 geforderte Gleichheit des Gewichtes der Wagebalkenarme noch weniger unverändert erhalten als erreicht werden kann, so verfertigt man die Wagebalken meistens und am vortheilhaftesten aus Messing.

Zu 3. S. 118 und 1. S. 121. Damit die einmal gleich schwer hergestellten Wageschalen solches auch stets bleiben, ist es vorzuziehen, sie an Drähten statt an Schnüren aufzuhängen, weil letztere leicht Staub und häufig auch Wasser aus der Luft aufnehmen und hiedurch ihr ursprüngliches Gewicht in ungleichem Maße ändern. Daß die Schalen sammt den Aufhängedrähten ein möglichst kleines Gewicht haben, fordert die Bedingung 1. S. 121.

Zu 3. S. 122. Damit der Wagebalken bei der nöthigen, ihn gegen das Ge-

bogenwerden sichernden Festigkeit ein möglichst geringes Gewicht habe, wird er am häufigsten aus dickem, stark gehämmerten Messingblech, in Gestalt eines sehr in die Länge gestreckten rhomboidischen Rahmens, wie man in den Fig. 96 und 100 sieht, verfertigt. Sehr gute Dienste leisten auch Wagebalken, die aus zwei dünnen Metallstreifen, wovon, wie Fig. 103 zeigt, der eine a mit seiner Fläche auf der Kante des andern b festgeschraubt oder festgelöthet ist. Der Streifen a gibt dem ein sehr geringes Gewicht besitzenden Wagebalken nach den Seiten hin, und der Streifen b nach verticaler Richtung einen großen Grad von Festigkeit.

Fig. 103.



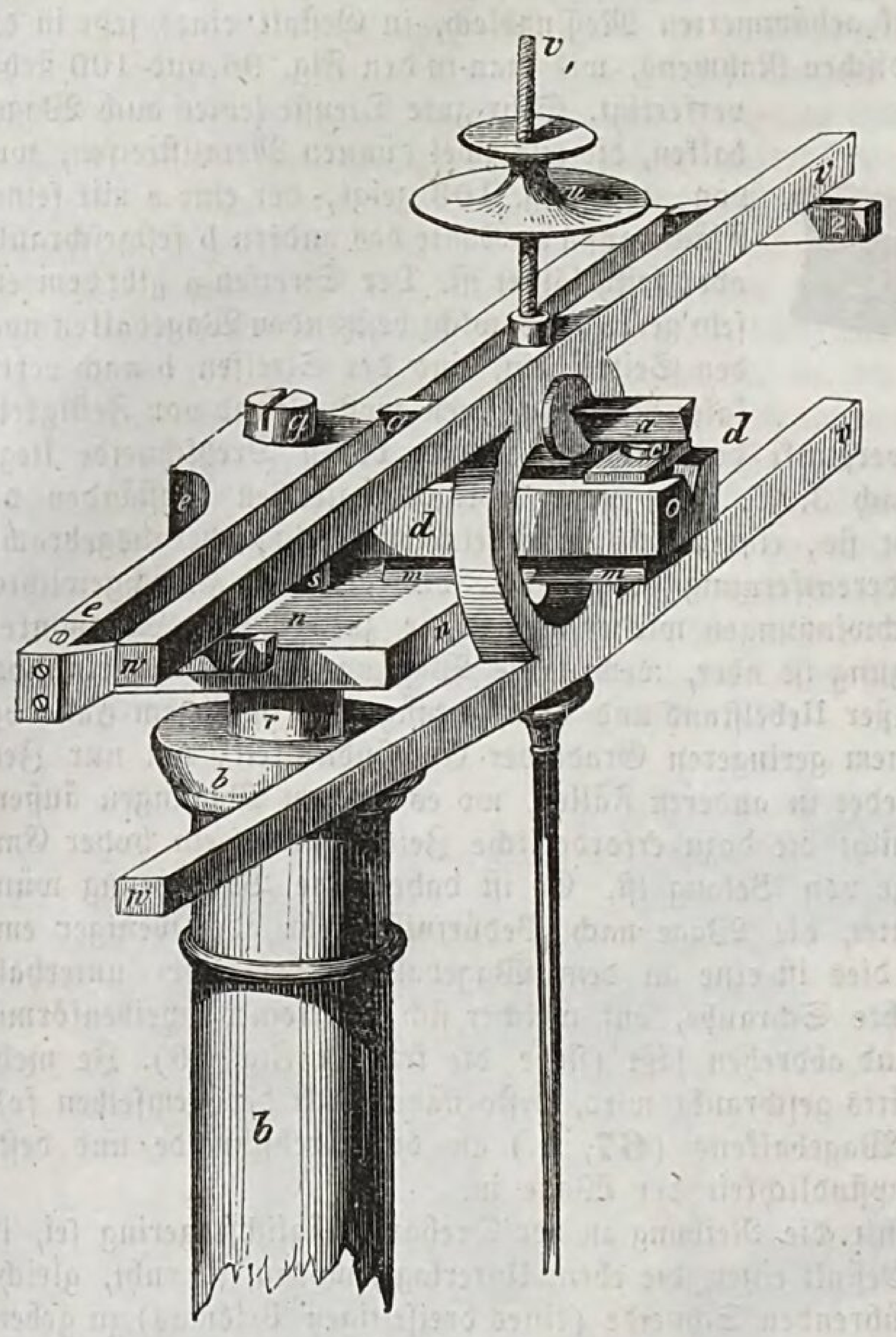
Je näher der Schwerpunkt des Wagebalkens an dessen Drehschneide liegt, desto empfindlicher ist (nach 3. S. 122) unter übrigens gleichen Umständen die Wage, desto länger braucht sie, einmal aus der Gleichgewichtslage herausgebracht, aber auch, um nach Wiederentfernung der Ursache des gestörten Gleichgewichtes nach einer Reihe von Schwingungen wieder zur Ruhe zu kommen. Langsamkeit dieser schwingenden Bewegung ist aber, wenn viele Wägungen rasch nach einander vorzunehmen sind, ein großer Uebelstand und man begnügt sich in diesem Falle bei der Wage oft gern mit einem geringeren Grade der Empfindlichkeit, um nur Zeit zu gewinnen, während wieder in anderen Fällen, wo es sich um Wägungen äußerster Genauigkeit handelt, nicht die dazu erforderliche Zeit, sondern ein hoher Empfindlichkeitsgrad der Wage von Belang ist. Es ist daher eine Vorrichtung wünschenswerth, welche gestattet, die Wage nach Bedürfniß mehr oder weniger empfindlich zu machen, und dies ist eine an dem Wagebalken ober- oder unterhalb der Drehschneide angebrachte Schraube, auf welcher sich ein kleines scheibenförmiges Gewichtchen u auf- und abdrehen läßt (siehe die frühere Fig. 96). Je mehr dieses Gewicht nach aufwärts geschraubt wird, desto näher rückt der demselben folgende Schwerpunkt des Wagebalkens (**67**, 2.) an die Drehschneide und desto mehr nimmt daher die Empfindlichkeit der Wage zu.

Zu 5. S. 112. Damit die Reibung an der Drehaxe möglichst gering sei, ist es nöthig, dieser Axe die Gestalt einer, die ebene Unterlage, worauf sie ruht, gleichsam nur in einer Linie berührenden Schneide (eines dreiseitigen Prismas) zu geben, dasselbe, damit die Schneide nicht leicht stumpf (flach gedrückt) werde, aus gehärtetem Stahl und ebenso die Unterlage; damit die Schneide nicht in dieselben einschneiden könne, aus einem harten Materiale, am besten aus Achat oder andern harten Steinen (in Ermanglung solcher auch aus Glas) zu verfertigen.

Damit die Drehschneide und ihr Lager durch den Druck, den sie gegenseitig auf einander üben, so wenig als möglich abgenützt werden (denn diese Abnützung hat Vermehrung der Reibung und gewöhnlich auch Verrückung der Drehaxe zur Folge, schadet somit der Empfindlichkeit und Richtigkeit der Wage), muß, während die Wage außer Gebrauch ist, oder während man die zu wägenden Körper auf die Schalen legt, diese Körper und die Gewichte von den Schalen herabnimmt, mit andern vertauscht u. s. f., der Wagebalken unterstützt und die Drehschneide außer Berührung mit ihrem Lager gebracht sein. Die Vorrichtungen, welche, um dies bewerkstelligen zu können, an guten Wagen immer vorhanden sind, dienen dann zugleich dazu, den aus der Ruhe gebrachten, schwingenden Wagebalken jeden Augenblick wieder in Ruhe (mit dem Zeiger auf den Nullpunkt) zu stellen (zu arretiren).

Wir wollen hier vorläufig die derartige Vorrichtung, die an der durch die frühere Figur 96 anschaulich gemachten Wage von K r a f t vorkömmt, genauer beschreiben und zwar mit Zuhilfenahme der Fig. 104, welche jene Theile, auf die sich die Beschreibung bezieht, in natürlicher Größe und in perspektivischer Ansicht darstellt. In letzterer Figur ist wv der (bei w und v abgebrochene) messingene Wage-

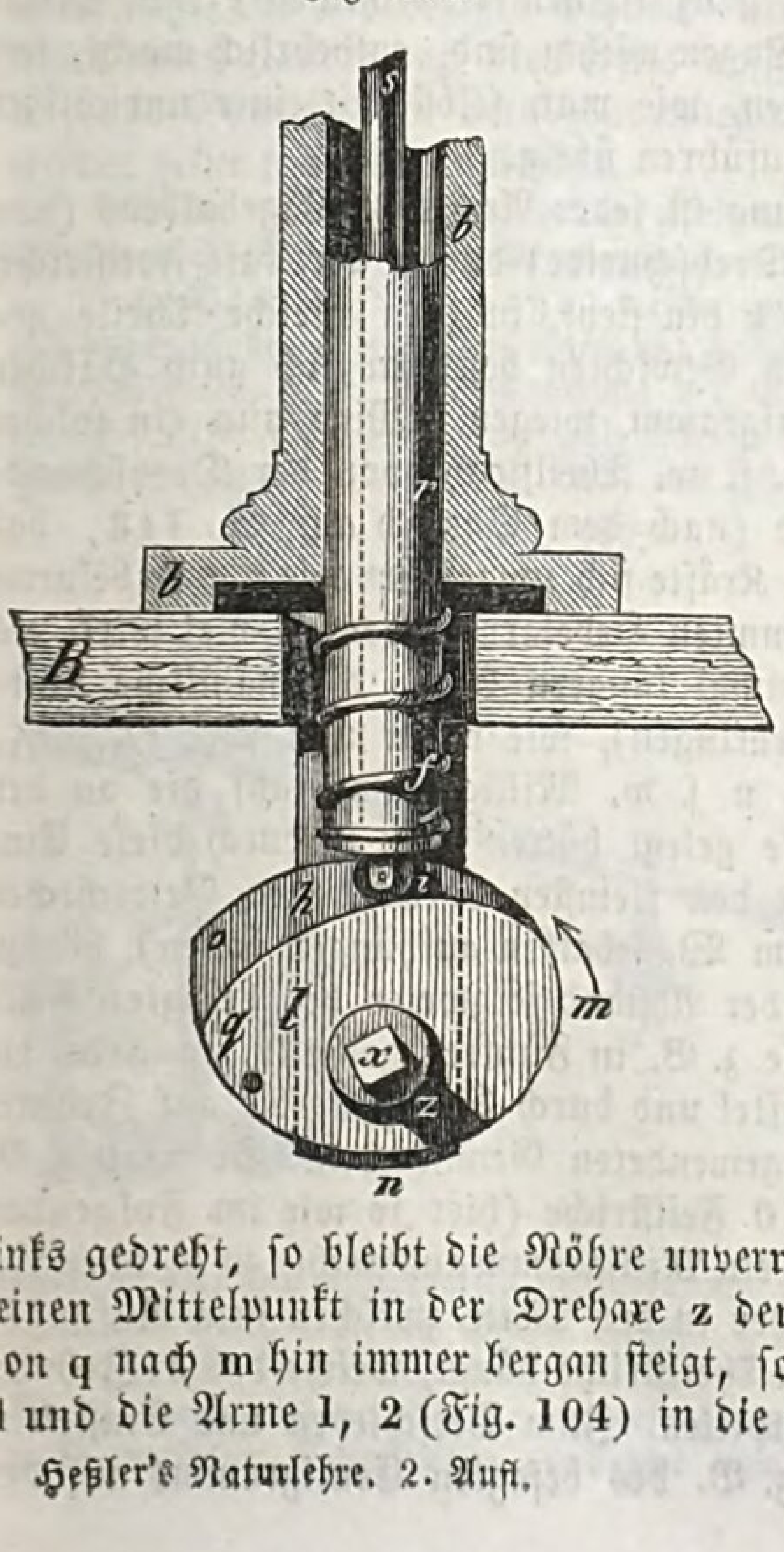
Fig. 104.



balken in Gestalt eines rhomboidischen Rahmens, a seine prismatische Drehaxe, die mit der Schneide auf zwei Achatplatten c, c_1 ruht, wovon die eine (c) vor und die andere (c_1) hinter dem Wagebalken sich befindet (die letztere ist in der Zeichnung nicht sichtbar). Beide Achatplatten sind auf einem viereckigen Messingstücke m befestigt, welches wieder an der viereckigen Messingscheibe n festgemacht ist, die von einer Röhre r getragen wird, welche in der Stützsäule b der Wage auf- und abgeschoben werden kann. d ist ein, das Messingstück m umgebender messingener Rahmen, der an den kürzeren Seitenflächen, vertikal unter dem Prisma a, zwei dreieckige Einschnitte o, o_1 hat (der Einschnitt o_1 ist in der Zeichnung nicht sichtbar) und mit einem horizontalen Stabe e vereinigt ist, der an den Enden zwei horizontale Arme, 1, 2 trägt, und am obern Ende einer cylindrischen Stange s festgeschraubt ist, die sich in der vorerwähnten Röhre r auf- und abschieben läßt. Haben die beschriebenen Theile die in Fig. 104 anschaulich gemachte Stellung, so kann der Wagebalken frei um seine Drehaxe a spielen; hebt man hingegen die Stange s und mit ihr den Stab e und den Messingrahmen d, so erfassen zuerst die horizontalen Arme 1, 2 den Wagebalken und nöthigen, ihn unterstützend, denselben in horizontaler Lage zur Ruhe zu kommen, gleich nachher ergreift der Rahmen d mit seinen dreieckigen Einschnitten o und o_1 die Ebenen des Prismas a und hebt dieses aus seinen Achatlagern aus. Bewegt man endlich die Röhre r und die von ihr eingeschlossene Stange s gleichzeitig in der Säule b so lange abwärts, bis die Platte n auf dieser letzteren aufsitzt, so stehen dann auch die Schalen auf dem Boden **B** des Glaskastens **K** auf (der, wie Fig. 96 zeigt, die Wage zur Abhaltung des Luftzuges, des Staubes, der Feuchtigkeit u. s. w. einschließt, Schraubenfüße zum Vertikalstellen der eine Wasserwage e tragenden Stützsäule b und eine Schiebthüre o hat), und es ist so dafür gesorgt, daß, während die Wage außer Gebrauch ist, auch die Aufhängeschneiden der Schalen nicht durch das Gewicht dieser letzteren leiden. Die Wagen von K u s c h e weichen, was die in Fig. 104 repräsentirte Einrichtung anbelangt, von der beschriebenen K r a f t'schen Wage der Wesenheit nach in Folgendem ab. Die Messingplatte n (Fig. 104), die das viereckige Messingstück mit den Achatplatten c, c_1 trägt, ist

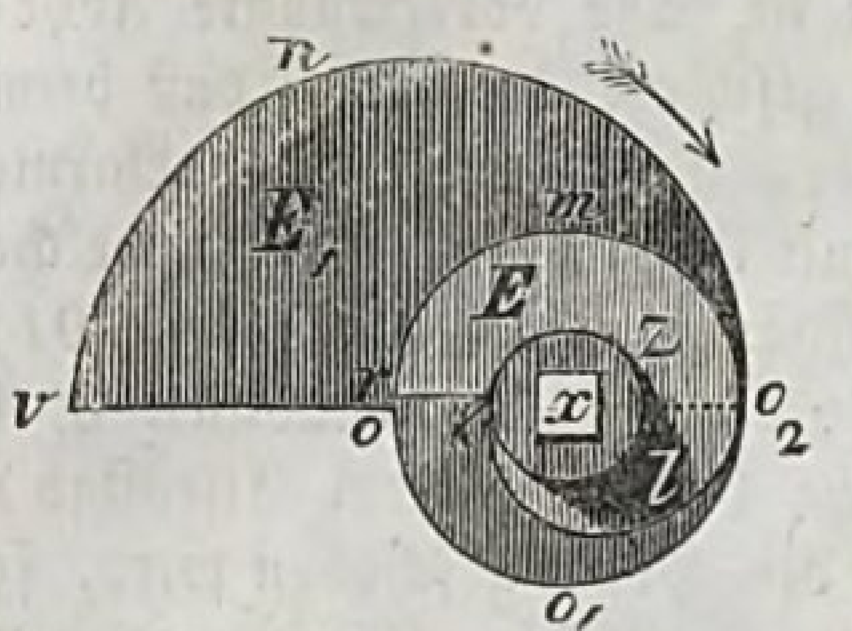
auf der Säule b selbst festgemacht. Die durch die Platte n durchgehende und in der Säule b auf- und abschiebbare Röhre r trägt den horizontalen Doppelarm a_1, a_1 (Fig. 100), der am obern Ende von r befestigt ist, durch die zwei messingenen Strebestangen b_1, b_1, wovon jede mit einem Ende an a_1, a_1 und mit dem andern, durch einen vertikalen Schlitz in der Säule b hindurchgehenden Ende an r festgemacht ist, die gehörige Festigkeit erhält, und zum Abheben der Wageschalen von ihren Aufhängeschneiden dient. Der in der Röhre r auf- und abschiebbare cylindrische Eisenstab s trägt am obern Ende, wie bei der Kraft'schen Wage, den zum Abheben der Drehschneide des Wagebalkens von den Achatplatten dienenden messingenen Rahmen d und den das Arretiren des Wagebalkens bewerkstelligenden horizontalen messingenen Stab e, der nur, wie Fig. 100 zeigt, von jenen in Fig. 96 rücksichtlich der Stellung und Form etwas verschieden ist. Die vorerwähnte Abhebung der Wagschalen von ihren Aufhängeschneiden geschieht dadurch, daß beim Emporschieben der Röhre r in der Säule b die an dem horizontalen Doppelarme a_1, a_1 vorhandenen aufrechtstehenden Säulchen g, g_1 mit ihren obern Enden, welche konische Vertiefungen haben, die an dem messingenen Aufhängerähmchen r_1 (Fig. 101) vorhandenen, unten mit konischen Spitzen (Körnern) versehenen Schräubchen 3, 4 ergreifen und dann das ganze Rähmchen in die Höhe heben. Da der Eisenstab s in der Röhre r früher als diese in der Säule b in die Höhe geschoben wird, so erfolgt natürlich zuerst die Arretirung des Wagebalkens und die Abhebung seiner Drehschneide von ihren Lagern und hernach erst findet die Abhebung der Wagschalen (der sie tragenden Rähmchen r_1) von ihren respektiven Aufhängeschneiden Statt. Die Auf- und Abbewegung der Röhre r und der Stange s in der Säule b bewerkstelligt man bei der Kraft'schen Wage durch einen Mechanismus, den die Fig. 105 klar machen wird. Es stellt dieselbe einen vertikalen, durch die Ebene des Wagebalkens geführten Durchschnitt der Stützsäule b vor, der uns die im Innern dieser Säule verschiebbare Röhre r und die von ihr eingeschlossene Stange s sichtbar macht. l, h sind zwei mit einander vereinigte excentrische Scheiben, die sich um die Axe z mittelst eines auf dem viereckigen Zapfen x aufzusteckenden Schlüssels, der bei der Oeffnung t (Fig. 96) eingeführt wird und bei s derselben Figur abgebildet ist, drehen läßt. Auf dem Umfange der Scheibe h sitzt die Röhre r auf und wird durch die Spiralfeder f stets mit demselben in Berührung erhalten, und auf dem Umfange des Excentricums l läuft ein am untern Ende der Stange s befindliches Rädchen i. Wenn der Wagebalken frei spielt, so ist die Doppelscheibe hl so gedreht, daß die Röhre r bei dem Punkte o und das Rädchen i bei dem Punkte q aufsitzt. Wird nun die Doppelscheibe nach der Richtung des beistehenden Pfeiles m von rechts nach links gedreht, so bleibt die Röhre unverrückt stehen (weil om ein Kreisbogen ist, der seinen Mittelpunkt in der Drehaxe z der Scheibe hl hat), während das Rädchen i von q nach m hin immer bergan steigt, so daß der Stab s und mit ihm der Rahmen d und die Arme 1, 2 (Fig. 104) in die Höhe bewegt werden, der Wagebalken so-

Fig. 105.



mit in früher angegebener Weise unterstützt, und seine prismatische Drehaxe **a** aus den Lagern ausgehoben wird, sobald der Punkt **m** der Doppelscheibe **hl** vertikal über ihrer Axe **z** ankömmt, wo dann das Rädchen **i** ganz in die Röhre **r** hineingeschoben ist. Dreht man hierauf noch weiter nach links, so rücken Röhre **r** und Stange **s**, auf dem Weg durch das Bogenstück **mn**, der Axe **z** immer näher, beide sinken also in der Säule **b** herab, bis bei ihrem untersten Stande die Wagschalen auf dem Boden des Kastens aufstehen. Bei den Kusche'schen Wagen geschieht die eben besprochene Auf- und Abbewegung des Stabes **s** in der Röhre **r** und dieser Röhre in der Säule **b** mittelst zweier an der Axe **z** (Fig. 105) festgemachter excentrischer Scheiben **E**, E_1, von der in Fig. 106 anschaulich gemachten Gestalt der Art, daß,

Fig. 106.



indem das Röllchen **i** (Fig. 105) auf der Krümmung **k**, **l**, o_2 des Excentricums **E** von **k** bis o_2 hingleiten gemacht wird, die Arretirung und Abhebung des Wagebalkens erfolgt, und indem hierauf die Krümmung $o_2 nv$ des Excentricums E_1 von o_2 bis **v** unter der Röhre **r** hinbewegt wird, die Abhebung der Wagschalen Statt findet, während das Röllchen **i** auf dem zu **z** concentrischen Halbkreis $o_2 mr$ läuft, der Wagebalken also in Ruhe belassen wird. Während der Bewegung des Röllchens **i** von **k** bis o_2 geht der Halbkreis $o o_1 o_2$ von E_1 unter der Röhre **r** hin, so daß diese Röhre während der Arretirung und Abhebung des Wagebalkens von seinen Lagern unbewegt bleibt.

Aus dem über Wagen bisher Vorgetragenen ergibt sich nun die Handhabung derselben bei genauen Wägungen von selbst. Es bleibt nur noch eine von Berzelius angegebene Einrichtung, welche die ganz kleinen Gewichtchen (z. B. Milligramme), die sonst für sehr empfindliche Wagen nöthig sind, entbehrlich macht, ferner ein von Borda herrührendes Verfahren, wie man selbst mit einer unrichtigen Wage vollkommen genau wägen kann, anzuführen übrig.

Nach der Berzelius'schen Einrichtung ist jeder Arm des Wagebalkens (von der Aufhängeschneide der Schale bis zur Drehschneide) durch vertikale Feilstriche, wie man sie in Fig. 96 und 100 von **i** bis **k** hin sieht, in zehn gleiche Theile getheilt, und bei den zur Wage gehörigen Gewichten befinden sich auch Häkchen von feinem Drahte, die gerade ein Centigramm wiegen. Wird nun ein solches Häkchen auf den ersten, zweiten, dritten u. s. w. Theilstrich, von der Drehschneide an gerechnet, aufgehängt, so wird dasselbe (nach dem Satze b auf S. 113, daß beim zweiarmigen Hebel parallel wirkende Kräfte sich umgekehrt wie die Hebelarme verhalten, d. h. eine Kraft an einem bestimmten Hebelarme eben so viel wirkt als eine zehnmal kleinere Kraft an einem zehnmal längern Arm, die nämliche Wirkung thun (den nämlichen Ausschlag hervorbringen), wie wenn man $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ u. s. f. eines Centigrammes, d. i. 1, 2, 3 u. s. w. Milligramme, auf die an den nämlichen Wagebalkenarm hängende Schale gelegt hätte. Man ist durch diese Einrichtung überhaupt in die Lage gesetzt, mit den kleinsten vorhandenen Gewichtchen (wenn sie so beschaffen sind, daß sie sich am Wagebalken aufhängen lassen) bis zu $^1/_{10}$ ihres Werthes genau zu wägen. Ist der Abstand je zweier der besagten Feilstriche noch weiter in kleinere gleiche Theile z. B. in Fünftel getheilt, so geht die Genauigkeit der Wägung noch bis auf Fünftel und durch Schätzung bis auf Zehntel des besagten Zehntels der Werthe der angewendeten Gewichtchen. So wird z. B. ein Centigramm, welches auf dem 1. der 10 Feilstriche (hier so wie im Folgenden von der Mitte des Wagebalkens an gezählt) ein Milligramm ausmacht, zu $^1/_5$ oder $^1/_{10}$ Milligramm, je nachdem es auf dem 1. oder in der Mitte zwischen dem Anfangspunkte der Theilung und diesem 1. derjenigen Theilstriche hängt, welche das 1. Zehntel eines Wagebalkenarmes in 5 gleiche Theile theilen. Zum Verschieben und Einstellen des kleinen häkchenförmigen Gewichtchens z. B. des besagten Centigramms auf der

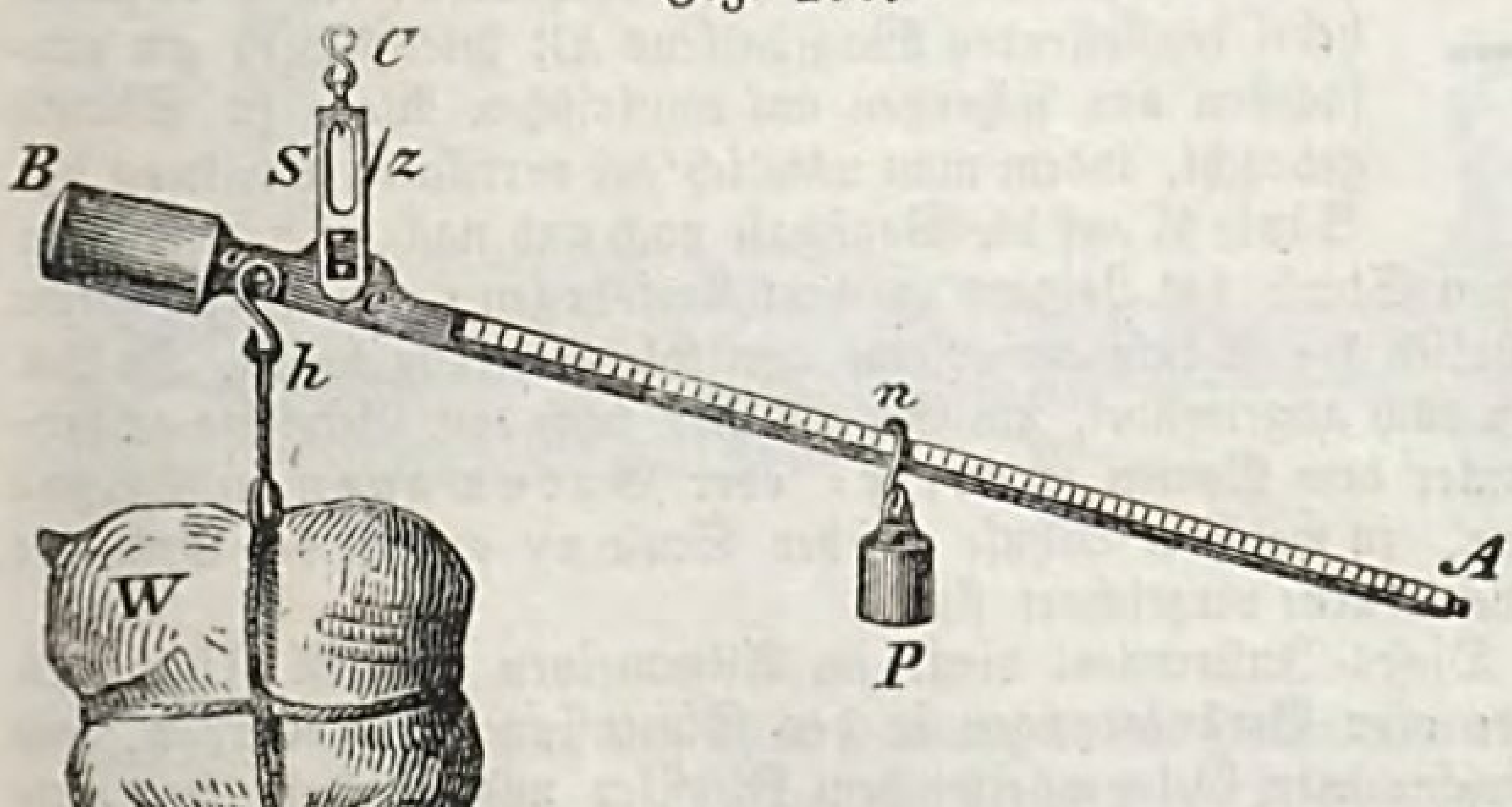
Theilung des Wagebalkenarmes dient (bei der Wage Fig. 100) ein horizontaler Arm s_3, welcher aus der am Wagekasten festgemachten Röhre $r_1 r_2$ (Fig. 105), und gegen sie rechtwinklig, bis an den Wagebalkenarm hin hervorsteht, sich durch Drehung der ganzen durch die Seitenwand des Wagekastens herausgehenden Röhre mittelst des Knopfes K_1 heben (um ihn dem schwingenden Wagebalken aus dem Wege zu bringen) und mittelst einer durch die ganze Länge der Röhre gehenden Schraube in einem Längenschlitze $s_1 s_2$ der Röhre längst des betreffenden Wagebalkenarmes, und zwar mittelst des Knopfes K_2 hin und her bewegen läßt.

Borda's sogenanntes Verfahren der doppelten Wägung oder des Tariren's, welches (da man selbst der besten Wage — wegen des Vorhandenseins bei der Construction unvermeidlicher oder während ihres Gebrauchs, z. B. in Folge ungleicher Erwärmung der Arme entstehender, wenn auch sehr kleiner Fehler — kein unbeschränktes Vertrauen schenken darf) immer anzuwenden ist, wenn es sich um genaue Wägungen handelt, besteht in Folgendem. Man legt den zu wägenden Gegenstand auf die eine Wageschale und bringt ihn mit Sand, Schrottkörnern, ungebohrten Granaten oder ähnlichen kleinen Körperchen (der sogenannten Tara) die auf die andere Wageschale gelegt werden, ins Gleichgewicht, so daß die Zunge beim Nullpunkte ihres Gradbogens einspielt, nimmt hierauf den abzuwägenden Gegenstand von der Wagschale herab, und legt an seine Stelle so lange Gewichte auf, bis die Zunge wieder genau beim Nullpunkte einspielt, wo dann die jetzt aufgelegten Gewichte genau dasselbe leisten, wie der herabgenommene Gegenstand, mithin das genaue Gewicht dieses Gegenstandes angeben. Beim Herabnehmen des zu wägenden Gegenstandes und Ersetzen desselben durch Gewichte muß der Wagebalken, damit seine Drehschneide nicht leidet und die Größe der Reibung an derselben sich nicht ändert, unterstützt und die besagte Schneide aus ihren Lagern ausgehoben sein, und erst, wenn man glaubt, daß die bereits aufgelegten Gewichte schon nahe so viel betragen wie das Gewicht des herabgenommenen Gegenstandes, gibt man dem Wagebalken wieder seine freie Beweglichkeit.

Außer der nun abgehandelten zweiarmigen Wage sind unter den auf den Hebel zurückführbaren Apparaten und Instrumenten noch vorzüglich wichtig:

1. Die Schnellwage, welche große Körper bedeutenderen Gewichtes schnell, nämlich durch bloßes Verschieben eines und desselben Gewichtes zu wägen gestattet und bei vielen Gelegenheiten, z. B. bei Bestimmung der Größe der Cohäsion (**20**) oder Adhäsion (**21**), der Festigkeit (**31**) u. s. w. gute Dienste leistet. Sie besteht aus einem zweiarmigen, ungleicharmigen Hebel AB (Fig. 107) aus festem Metall, an dessen kürzerem Arm und zwar auf einer Schneide a ein Haken h (oder auch eine Schale) zur Aufnahme der zu wägenden Waare W hängt, während sich auf dem längeren Arme jenseits der in der Schere S ruhenden Drehschneide c des Wagebalkens ein constantes Gewicht P (Laufgewicht oder Laufer genannt) verstellen läßt. Nimmt der Wagebalken im unbelasteten Zustande (ohne daß an dem Haken h eine Last und auf dem längern Arm der Laufer hängt) stets eine horizontale Lage an, — was aus dem Einspielen der senkrecht auf dem Wagebalken stehenden und verlängert durch die Drehare c gehenden Zunge z bei einem Absehen in der Schere erkannt wird und natürlich nur dann der Fall ist, wenn der Schwerpunkt des Wagebalkens in oder senkrecht unter der Drehschneide c liegt, — so heißt die Wage eine mathematische, im entgegengesetzten Falle eine physische Schnellwage. Bei der mathematischen Schnellwage (und nur von dieser wird hier geredet) ist der längere Wage-

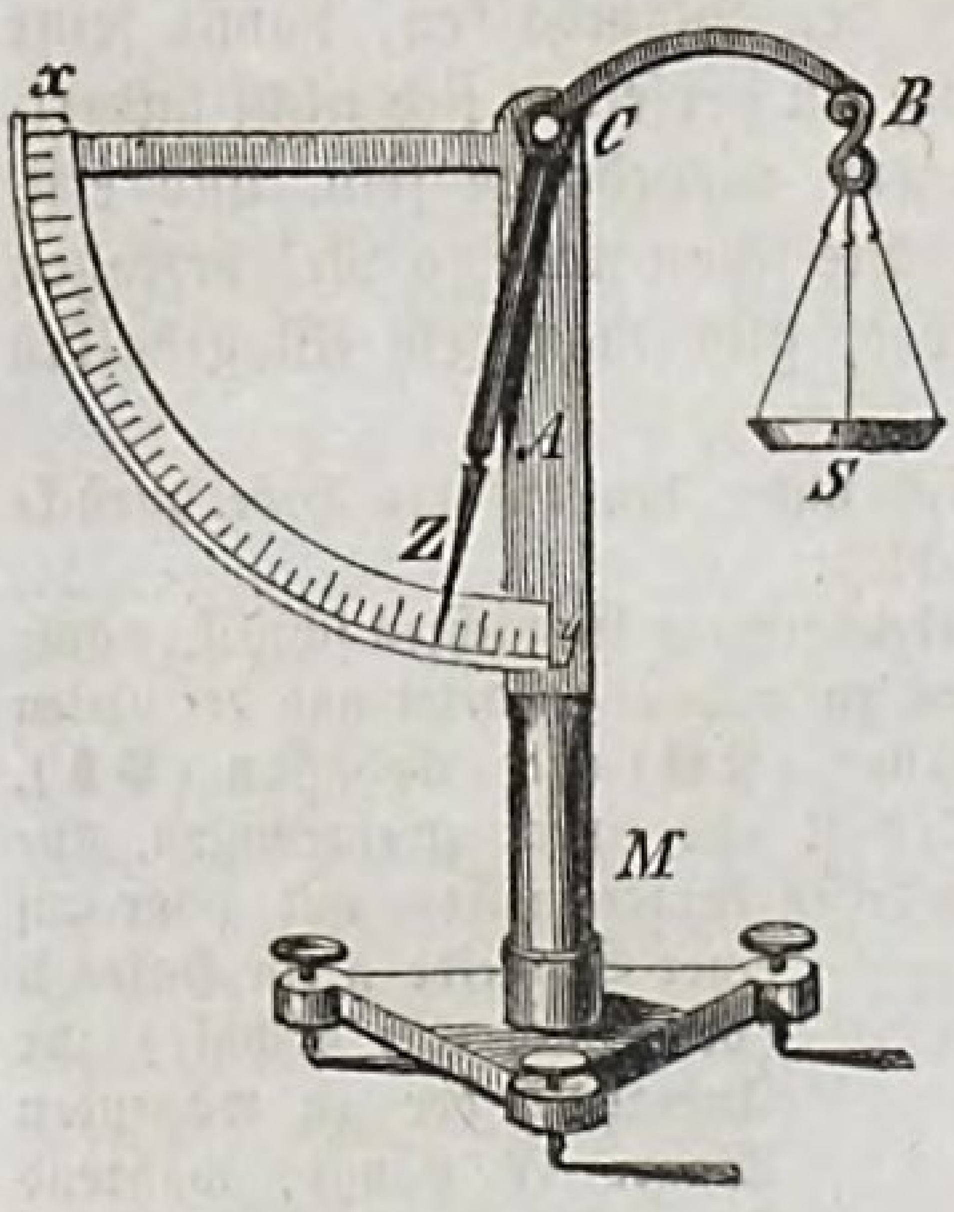
Fig. 107.



balkenarm cA, von c angefangen, durch in seiner obern, zugeschärften Seite angebrachte Feilstriche der ganzen Länge nach in gleiche Theile getheilt, wovon jeder so groß ist, als der Abstand der beiden Schneiden a und c von einander. Diese zwei Schneiden stehen übrigens, wie sich von selbst versteht, senkrecht auf der Ebene des Wagebalkens und liegen mit der, die Feilstriche enthaltenden obern Kante desselben in einerlei Ebene. Beim Gebrauche wird die Wage, mittelst des Hakens C an der Schere, aufgehängt, der zu wägende Körper W wird an den Haken h oder auf die an seiner Stelle vorhandene Wagschale gebracht und nun ein passendes Gewicht P bekannter Größe, z. B. ein Pfund (d. h. das Gewicht P sammt dem Haken, woran es hängt, muß ein Pfund betragen) auf dem längern Arme cA so lange hin- und hergerückt, bis dasselbe, bei irgend einem Theilstrich n stehend, der Last W das Gleichgewicht hält (so daß die Zunge z beim Absehen in die Schere einspielt), wo dann, wenn Q das Gewicht des Körpers W bedeutet, nach Satz (6) auf S. 113, $P : Q = ac : cn$ mithin $Q = \frac{P \cdot cn}{ac}$ oder wegen $ac = 1$ (indem ac die Längeneinheit der Theilung auf Ac bildet), $Q = P \cdot cn$ ist, d. h. die Last ist immer gleich dem Laufgewichte multiplicirt mit der Anzahl Theilstriche, um welche es, dem zu wägenden Körper das Gleichgewicht haltend, von der Drehschneide der Wage absteht. Wird der Abstand von je zwei der besagten Theilstriche noch z. B. in vier gleiche Theile abgetheilt, so entspricht einer solchen Unterabtheilung der vierte Theil des als Laufer angewendeten Gewichtes. Daß man für Lasten, welchen ein Pfundgewicht als Laufer, selbst wenn es am äußersten Theilstriche A steht, noch nicht das Gleichgewicht halten kann, entsprechend größere Laufgewichte von **2**, **5**, **10** Pfund u. s. w. anwenden müsse, versteht sich von selbst.

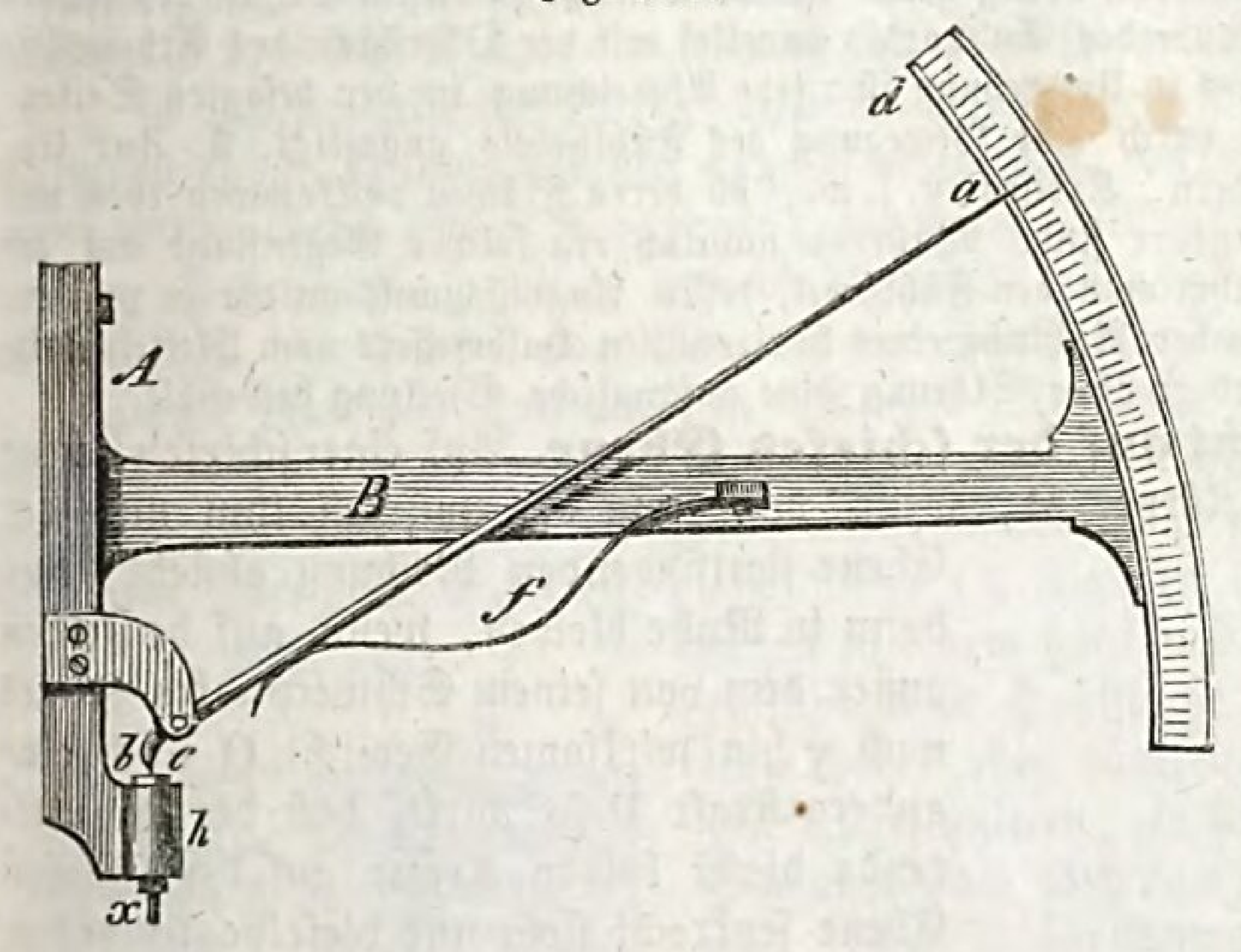
2. Die Zeigerwage (Fig. 108), welche das Gewicht des auf der Schale S liegenden Gegenstandes unmittelbar an der kreisförmigen Scale xy anzeigt, wird in Fällen angewendet, a) wo man die aufeinander folgenden Aenderungen im Gewichte eines Körpers erfahren will, der sich in einem geschlossenen Raume befindet und nicht wohl vor Beendigung des Versuches herausgenommen werden kann, wie z. B. wenn es sich um das Fortschreiten des Verdampfens oder der Gewichtzunahme eines Körpers in einer gewissen abgesperrten Atmosphäre handelt, in welchem Falle man mit einer gewöhnlichen Wage, bei welcher die Größe der Gewichtsänderung eines Körpers nur durch Hinzugeben oder Wegnehmen von Gewichten bestimmt werden kann, nicht zum Ziel gelangt, oder b) wo viele Körper (z. B. Briefe auf der Post u. s. w.) schnell nach einander abzuwägen sind, und das Auflegen von Gewichten bei der gleicharmigen Wage oder das gehörige Einstellen des Laufers bei der Schnellwage einen zu langen Aufenthalt verursacht. Die Einrichtung der Zeigerwage wird aus dem bloßen Anblick der Zeichnung klar. Die kreisförmige Scale, auf welcher der Zeiger Z des um die Schneide C drehbaren, einen Winkelhebel darstellenden Wagebalkens AB spielt, wird am einfachsten und sichersten auf empirischen Wege zu Stande gebracht, indem man nämlich bei vertikaler Stellung der Säule M auf die Wagschale nach und nach immer größere Gewichte legt und den jedesmaligen Stand des Zeigers auf dem Kreisbogen xy markirt. Beim Gebrauche der Wage muß natürlich die Säule immer eine vertikale Stellung haben. In der Praxis werden die Zeigerwagen auch angewendet, um Gegenstände nach dem Gewichte zu sortiren; insbesondere dienen sie unter dem Namen Sortir- oder Garnwagen in Spinnfabriken zum Sortiren der Garne, zu welchem Behufe auf der Scale xy anstatt der Gewichte gleich die Feinheits-Nummern der Garne verzeichnet sind.

Fig. 108.



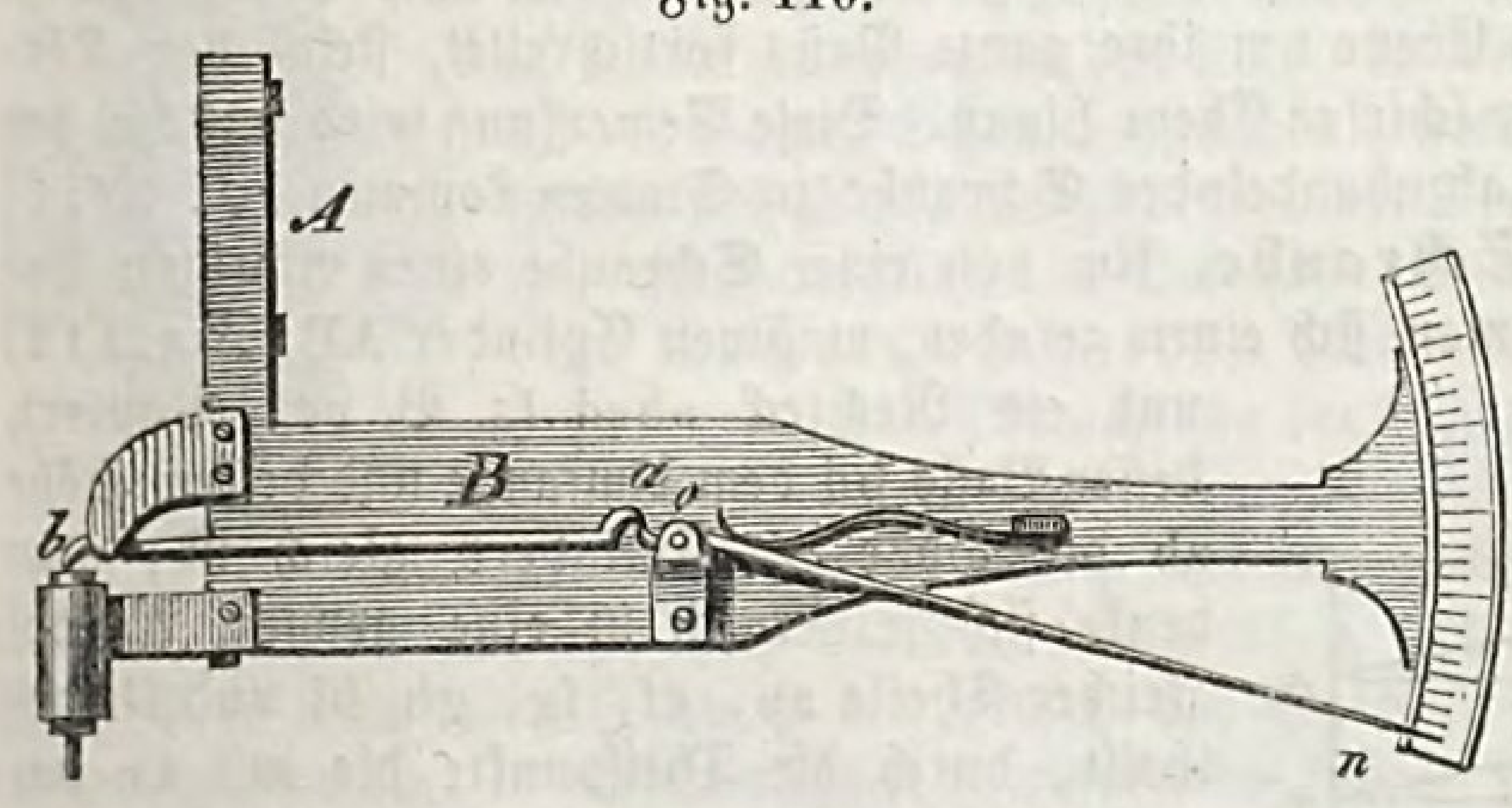
3. Der Fühlhebel. Dieses Instrument dient im Allgemeinen zum Auffinden und Messen kleiner Unterschiede oder Veränderungen in den Dimensionen der Körper, und leistet in dieser Beziehung bei verschiedenen Gelegenheiten dem Physiker und Praktiker sehr gute Dienste. Es besteht seiner Wesenheit nach aus einem ungleicharmigen Hebel ab (Fig. 109), dessen langer Arm ac den kürzeren cb etwa **20** bis **100** Mal an Länge übertrifft. Letzterer ist von gehärtetem Stahl und an dem Ende (Angriffspunkt) b etwas abgerundet und fein polirt; der lange Arm besteht aus Messing und sein Ende a spielt als Zeiger auf einem eingetheilten Gradbogen d. Die stählerne Drehungsaxe c endigt in Spitzen (Körner), welche in zwei einander gegenüberstehende Lager eingreifen, so daß die geringste Kraft den Hebel in Bewegung setzen kann. Eine schwache Feder f drückt letzteren stets nach einer solchen Richtung, daß das Ende b mit

Fig. 109.



schwachem Drucke sich gegen den ihm dargebotenen Gegenstand lehnt. Bringt man nun z. B. das eine freie Ende eines an seinem zweiten Ende unverrückbar befestigten Stabes mit dem Angriffspunkte b in Berührung, und es ändert dieser Stab aus was immer für einer Ursache seine Länge, so zeigt diese Aenderung der längere Arm ac durch eine entsprechende Bewegung auf dem Gradbogen desto stärker vergrößert an, je mehrere Male der längere Arm des Hebels den kürzeren an Länge übertrifft, so daß der Zeiger ac, wenn er etwa 50 Mal länger als der Arm bc und der Gradbogen mit einer hinreichend feinen Theilung versehen ist, die geringsten Aenderungen erwähnter Art und zwar continuirlich ersichtlich macht. Sollen diese zugleich g e m e s s e n werden können, so muß für den Fühlhebel eine Tabelle berechnet sein, aus welcher die jeder Bewegung des längeren Armes auf dem (etwa von 15 zu 15 Minuten eingetheilten) Gradbogen entsprechende Bewegung des Angriffspunktes b des kürzeren Armes unmittelbar entnommen werden kann. (In dieser Tabelle müssen z. B. in Wien. Linien und Bruchtheilen derselben die Bewegungen angegeben sein, die der Angriffspunkt b macht, während der Zeiger a auf dem Gradbogen eine gewisse Anzahl Grade, Minuten oder Bruchtheile derselben zurücklegt. Mit einem Fühlhebel, bei welchem das angegebene Längenverhältniß der Arme 1 : 50 stattfindet, der Gradbogen von 15 zu 15 Minuten eingetheilt und der Zeiger mit einem entsprechenden Nonius, der aber, um den Zeiger nicht schwerfällig zu machen, ganz klein sein muß, versehen ist, können Messungen gemacht werden, die bis auf $\frac{1}{10000}$ Linie noch genau sind.) Um den Angriffspunkt b in eine größere Entfernung vom Instrumente zu bringen und zu bewirken, daß die Bewegung dieses Punktes immer nach der nämlichen Richtung erfolgt, ist noch ein kleiner polirter Cylinder von gehärtetem Stahl vorhanden, der sich leicht, aber genau in der Hülse h verschiebt und dessen den kürzeren Arm des Hebels berührendes Ende eben, polirt und gegen seine (des Cylinders) Axe senkrecht ist. Das zweite, etwas abgerundete und polirte Ende x ist dann der Angriffspunkt. Zum Behufe sehr genauer Prüfungen und Messungen hat man doppelte Fühlhebel, bei welchen, wie in Fig. 110, der längere Arm eines Hebels ab auf den kürzeren Arm eines zweiten ähnlichen Hebels wirkt, dessen langer Arm on als Zeiger auf dem Gradbogen spielt. Das Gestell AB (Fig. 109 und 110) des Fühlhebels ist auf eine oder die andere passende Art so eingerichtet, daß es sich dort, wo das Instrument gebraucht werden soll, unverrückbar festmachen läßt.

Fig. 110.

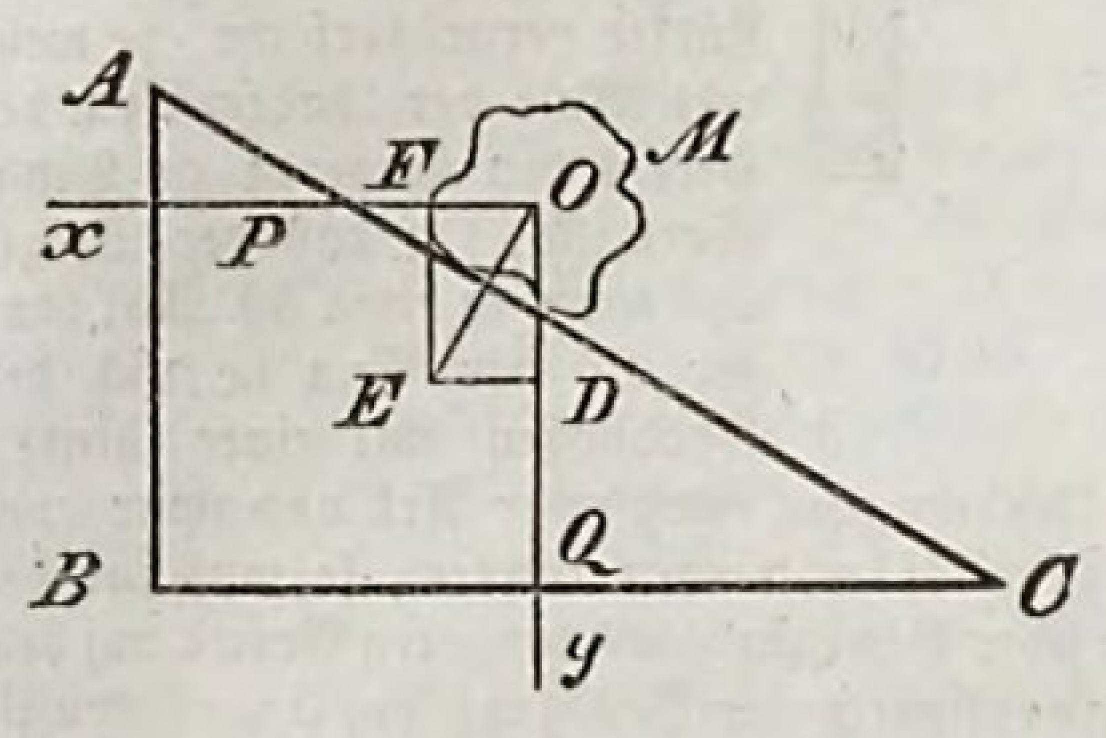


Von den verschiedenen nützlichen Anwendungen, die der Fühlhebel gestattet, sollen nur folgende, vorzüglich für den Techniker wichtige hier angeführt werden: 1. Zur Prüfung, ob ein gedrehter Gegenstand rund läuft und eine völlig runde Gestalt hat. Zu diesem Ende befestigt man den Fühlhebel mittelst seines Gestelles auf dem sogenannten Support der Drehbank, so daß der Angriffspunkt x den Umkreis des Arbeitsstückes berührt, und läßt letzteres sich langsam um seine Axe drehen. Aendert dabei der längere Arm des Hebels seine Stellung am Gradbogen nicht, so läuft der Gegenstand rund und hat eine völlig runde Gestalt. Erfolgt eine Abweichung des Hebels, so deutet die Seite, nach welcher hin sie stattfindet, an, ob die eben mit dem Fühlhebel in Berührung stehende Stelle des Arbeitsstückes zu weit oder zu nahe bei der Drehungsaxe liegt; so wie die Größe der Abweichung auf die Größe der Eccentricität schließen läßt. 2. Zur Prüfung eines Cylinders oder

Kegels, ob dessen Seitenfläche überall völlig gerad ist. Man macht zu diesem Behufe den Fühlhebel (mittelst der langen Schraube des Supports) parallel mit der Oberfläche des Arbeitsstückes fortrücken, während letzteres in Umdrehung ist: jede Abweichung in der besagten Seitenfläche von der Geradheit wird durch eine Bewegung des Fühlhebels angezeigt. 3. Zur Untersuchung von Scheiben, Rädern, Kreisen u. s. w., ob deren Flächen vollkommen eben und rechtwinklich gegen die Drehungsaxe sind. Während nämlich ein solcher Gegenstand auf der Drehbank langsam umläuft, führt man den Fühlhebel, dessen Angriffspunkt an der zu prüfenden Fläche anliegt, allmälig in der Richtung eines horizontalen Halbmessers vom Mittelpunkte bis an den Umkreis und sieht, ob er ohne Störung seine anfängliche Stellung beibehält.

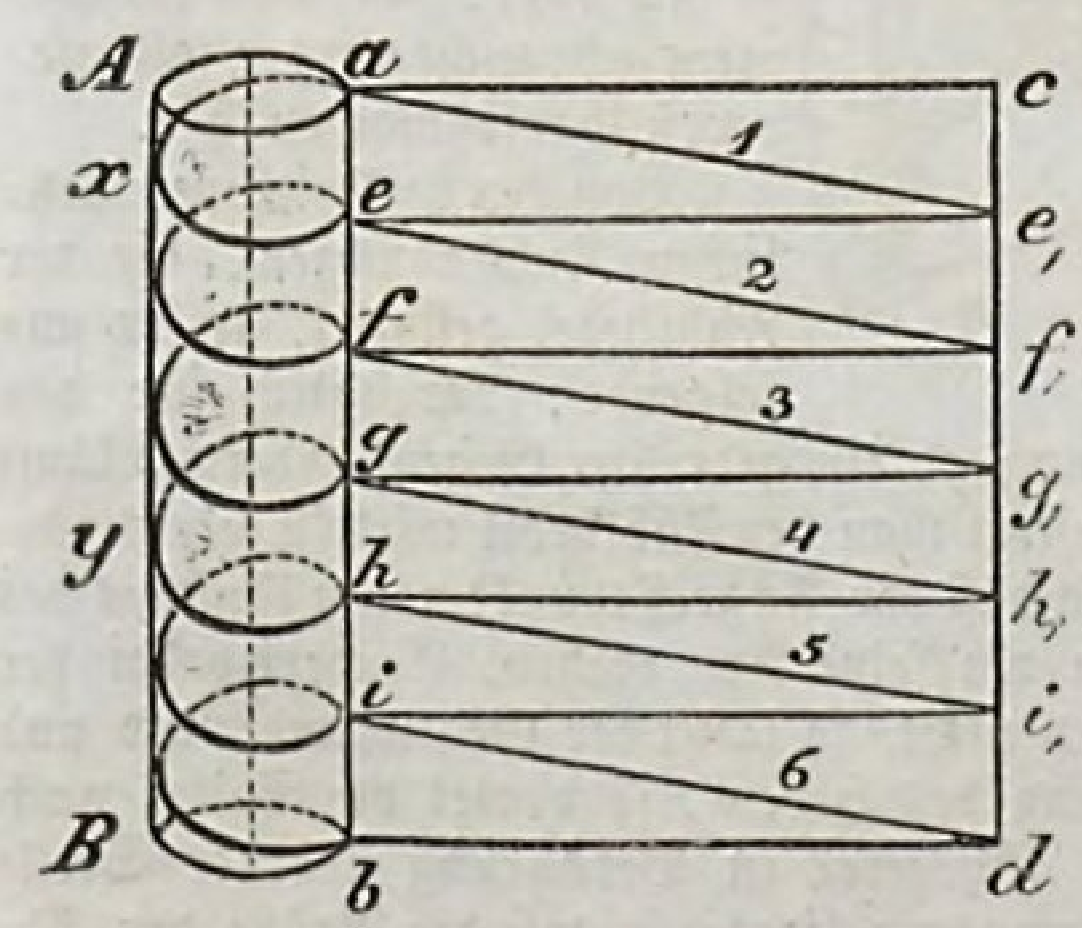
88. Gleichgewicht auf der schiefen Ebene. Auf einer schiefen Ebene **AC** (Fig. 111) wird ein Körper **M**, wenn man von der zwischen ihm und der Ebene stattfindenden Reibung absieht, nur dann in Ruhe bleiben, wenn auf denselben außer dem von seinem Schwerpunkte **O** aus nach **y** hin wirksamen Gewicht **Q** noch eine andere Kraft **P** so wirkt, daß die Resultirende dieser beiden Kräfte auf der schiefen Ebene senkrecht steht und dieselbe in einem innerhalb der Grundfläche des Körpers **M** gelegenen Punkt trifft, mithin durch die Festigkeit der schiefen Ebene aufgehoben wird. Wir wollen hier nur den besonderen Fall näher betrachten, wo die Kraft **P** nach einer zur Basis **BC** der schiefen Ebene parallelen Richtung **Ox** wirkt. Wird die auf **AC** senkrechte Resultirende von **P** und **Q** der Größe nach durch die Linie **OE** vorgestellt und in ihre Componenten **OD = Q** und **OF = ED = P** zerlegt, so hat man wegen Aehnlichkeit der Dreiecke **OED** und **ABC**, deren Seiten wechselweise auf einander senkrecht stehen, **ED : OD = AB : BC** oder **P : Q = AB : BC**, d. h. soll ein Körper auf einer schiefen Ebene durch eine zur Basis dieser letzteren parallel wirkenden Kraft in Ruhe erhalten werden, so muß diese Kraft sich zum Gewichte des Körpers wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Basis verhalten .... (†) Würde die Kraft **P** über dieses Verhältniß hinaus vergrößert, so müßte der Körper **M** auf der schiefen Ebene sich aufwärts bewegen. Das Nämliche muß geschehen, wenn bei unverändertem Verhältniß der Kräfte **P** und **Q** die schiefe Ebene in der Richtung ihrer Basis und zwar von **B** nach **C** hin bewegt wird; während die schiefe Ebene um ihre ganze Basis fortschreitet, steigt der Körper **M** die ganze Länge der schiefen Ebene hinan. Diese Bemerkung wird uns bei der im folgenden Paragraphe abzuhandelnden Schraube zu Statten kommen .... (††)

Fig. 111.



89. Von der Schraube. Um von einer Schraube einen richtigen Begriff zu bekommen, denke man sich einen geraden, massiven Cylinder **AB** (Fig. 112) und ein Rechteck **abcd** (z. B. von Papier), dessen Basis **bd** dem Umfange und dessen Höhe **ab** der Höhe des Cylinders gleich ist; man denke sich ferner **ab** in eine gewisse Anzahl gleicher Theile **ae**, **ef**, **fg**, **gh**, **hi** und **ib** getheilt, durch die Theilpunkte die mit **ac** parallelen Linien ee_1, ff_1, gg_1, hh_1 und ii_1, hierauf zu den so entstehenden congruenten Parallelogrammen die Diagonalen ae_1, ef_1, fg_1, gh_1, hi_1 und **id** gezogen und nun das Rechteck **abcd** dicht anliegend um den Cylinder herumgewickelt; so werden die Linien **cd** und **ab**, ferner die Punkte e_1, f_1, g_1, h_1, i_1 und **d** mit den Punkten **e**, **f**, **g**, **h**, **i** und **b** zu-

Fig. 112.



sammenfallen, das Ende e_1 der Diagonale 1 wird sich an den Anfangspunkt e der Diagonale 2, diese Diagonale 2 wird sich eben so an die Diagonale 3 anschließen u. s. f., so daß sich alle diese Diagonallinien zu einer continuirlichen um den Cylinder herumlaufenden krummen Linie axgyb vereinigen, welche Schraubenlinie genannt wird. Jede solche Diagonale erzeugt eine Windung (wie axe), einen sogenannten Schraubengang, und die Abstände ae = ef = fg u. s. w. der Diagonalen bilden die Höhe oder Weite der Schraubengänge.

Denkt man sich nun um den Cylinder **AB** längs der Schraubenlinie **axgyb** ein drei- oder vierseitiges, an seiner Basis mit dem Cylinder vereinigtes und aus dem Cylinder hervorragendes Prisma herumgehend, so hat man eine männliche Schraube oder eine Schraubenspindel (**A** Figuren 113 und 114). Sind hingegen in einem hohlen Cylinder längs einer auf der cylindrischen Hohlfläche verzeichneten Schraubenlinie drei- oder vierseitig prismatische Vertiefungen eingeschnitten, so heißt das eine weibliche Schraube oder Schraubenmutter (**B** Fig. 113 und 114). In der Anwendung müssen Schraubenspindel und Schraubenmutter immer zusammenwirken und zu diesem Behufe ist erforderlich, daß der massive und hohle Cylinder der Schraubenspindel und Schraubenmutter gleiche Durchmesser haben, und daß die prismatischen Erhöhungen des ersteren in die Vertiefungen der letzteren genau hineinpassen, wie Fig. 115, ein Durchschnitt einer Schraube, zeigt. Die Erhöhungen und Vertiefungen der Schraube (gewöhnlich aber nur die ersteren) heißen das Gewinde oder Schraubengewinde und jeder einzelne Umgang desselben heißt ein Gang oder Schraubengang. Der Winkel, welchen die schräge Richtung der Schraubengänge mit einer gegen die Axe der Schraube senkrechten Ebene macht, wird die Steigung des Gewindes, und die Entfernung zwischen Anfang und Ende eines einzelnen Ganges oder die Größe, um welche das Gewinde während eines Umganges längs der Schraube fortrückt (d. i. der Abstand der Punkte **a**, **b** von einander, in den Fig. 113 und 114), die Höhe oder Weite eines Schraubenganges genannt. Je nachdem der Querschnitt des Schraubengewindes ein Dreieck oder Parallelogramm ist, heißt endlich die Schraube eine scharfe (**A** Fig. 113) oder flache (**A** Fig. 114). Unter der Voraussetzung (die bei der theoretischen Betrachtung der Schraube immer gemacht wird), daß zwischen den sich berührenden Flächen der Spindel und der Mutter keine Reibung stattfinde, müßte die in die unbeweglich gedachte Mutter **B** eingeführte vertikale Spindel **A** sich um ihre Axe drehend, zu Folge ihres Gewichtes **Q** durch die Mutter sich hinabbewegen, indem das Gewinde dieser letzteren eine in Krümmungen fortlaufende schiefe Ebene darstellt. Soll diese Bewegung durch eine tangential zur Spindel wirkende Kraft **P** verhindert, d. h. die Spindel in der Mutter zur Ruhe gebracht werden, so muß, — da dies so viel sagen will, als die Last (der Spindel) **Q** auf einer schiefen Ebene von der Höhe ae (= ef = fg u. s. w.) und von der Basis ee_1 ($= ff_1 = gg_1$ u. s. w.) Fig. 112, durch eine zur Basis ee_1 ($ff_1 = gg_1$ u. s. w.) der schiefen Ebene parallel wirkende Kraft **P** in Gleichgewicht erhalten, — nach (†) in **88**, $P : Q = ae : ee_1$ . . . (1) sein, d. h. (da ae die Höhe eines Schraubenganges vorstellt und ee_1 dem Umfange des Cylinders gleich ist) es muß sich bei einer Schraube im Zustande des Gleichgewichtes die Kraft

Fig. 113.

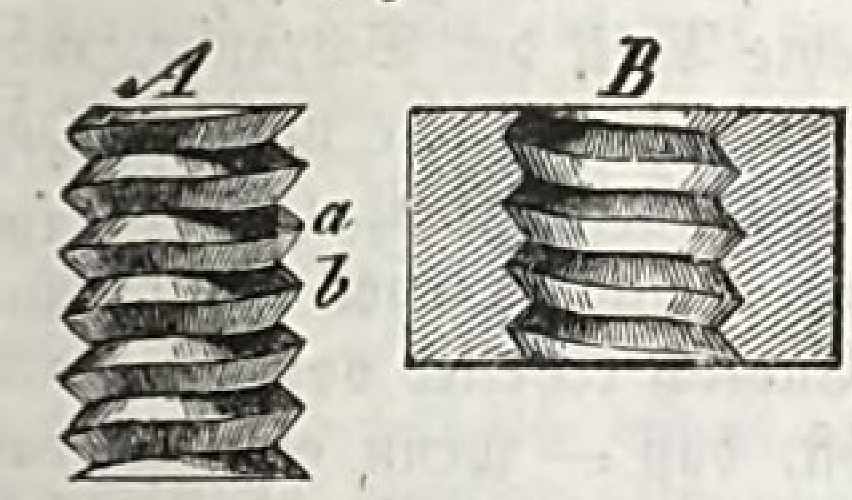


Fig. 114.

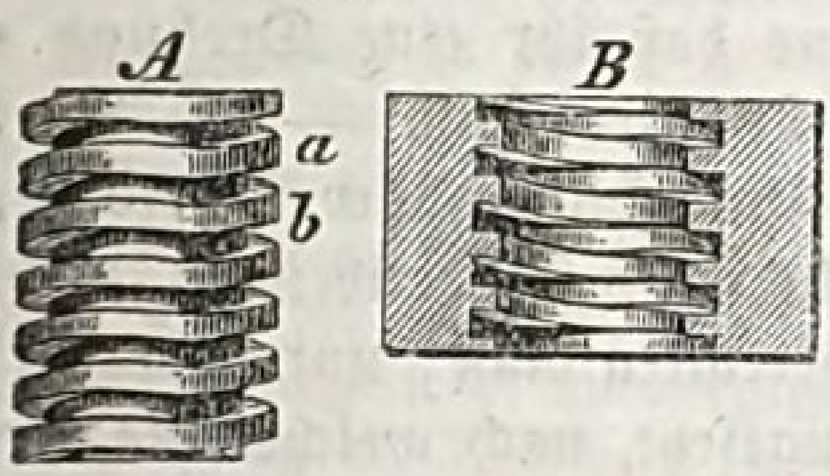
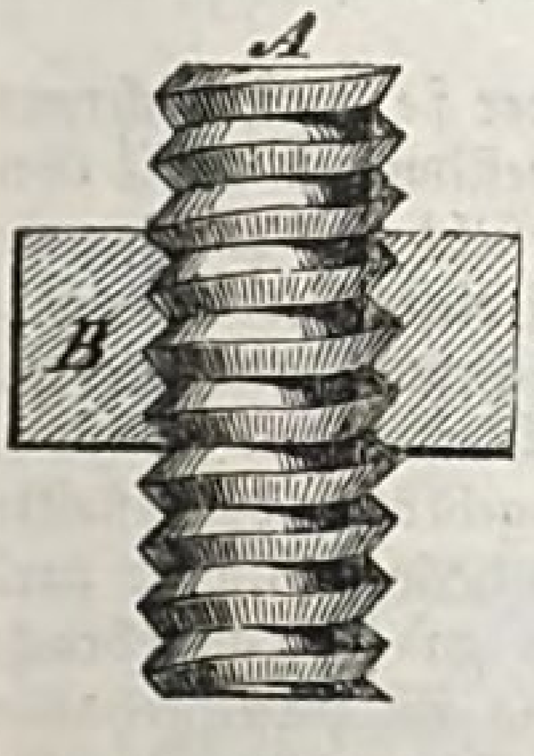


Fig. 115.



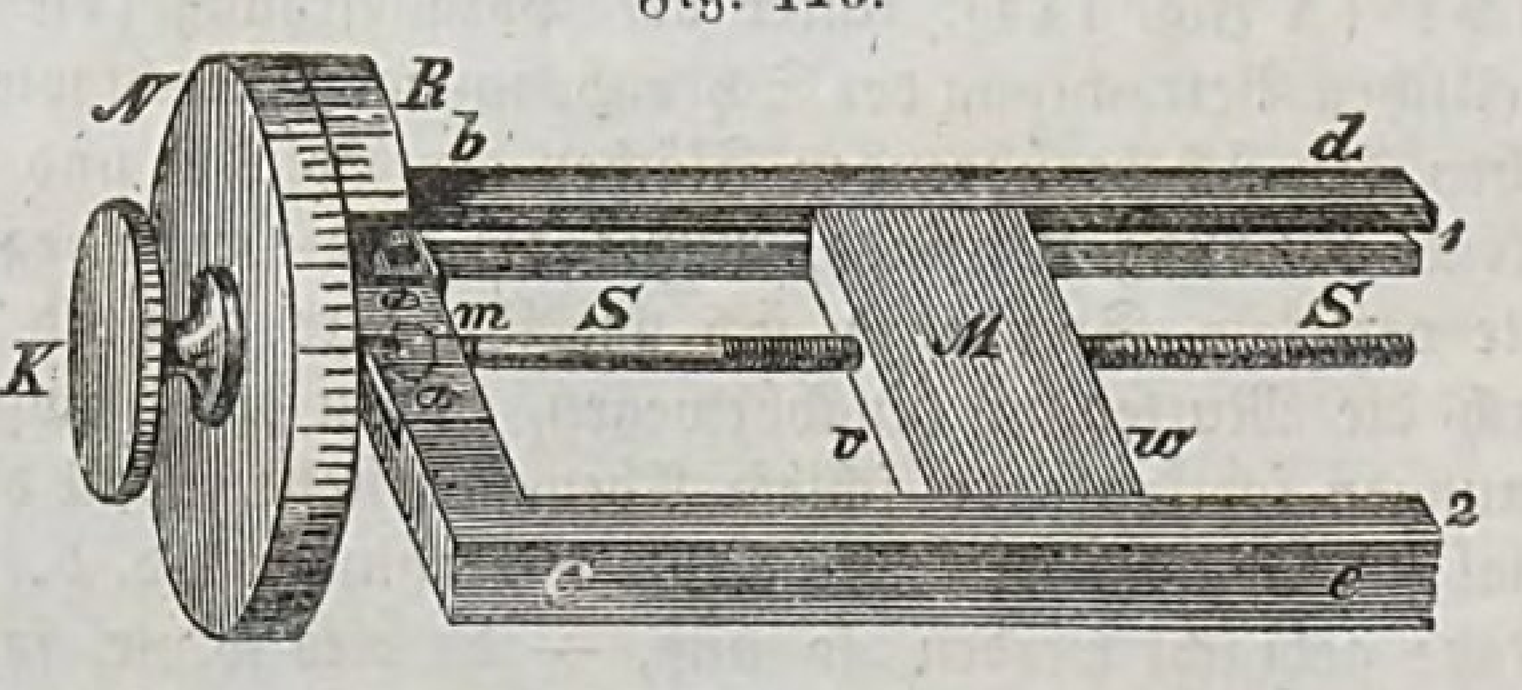
zur Last, wie die Höhe eines Schraubenganges zum Umfang des Schraubencylinders oder zu dem Weg verhalten, den der Angriffspunkt der Kraft während einer ganzen Umdrehung der Schraubenspindel macht . . . (2). Daß das eben Erwiesene ganz in der nämlichen Weise auch in dem Falle gilt, wo die Schraubenspindel fest und die Schraubenmutter beweglich ist, versteht sich von selbst; nur bedeutet dann **Q** das Gewicht der Schraubenmutter. Ebenso folgt aus vorstehendem Satze (2) und unter Beziehung auf (††) in **88**, daß, wenn durch die Kraft **P** die Spindel in der Mutter nicht blos in Ruhe erhalten, sondern darin in die Höhe gedreht werden soll, diese Kraft unter übrigens gleichen Umständen desto größer sein müsse, je größer die Höhe der Schraubengänge ist, und ein Gleiches gilt, wenn die Spindel feststeht und die Mutter auf derselben in die Höhe bewegt werden soll.

In der Anwendung wird bald die Spindel, bald die Mutter gedreht; die unmittelbare Folge davon ist aber immer, daß der gedrehte Theil der Schraube, während er eine ganze Umdrehung erfährt, in der Richtung seiner Axe um die Höhe eines Schraubenganges, also wenn er nur um einen aliquoten Theil (z. B. $^{1}/_{100}$) einer ganzen Umdrehung gedreht wird, um einen gleichen aliquoten Theil (auch $^{1}/_{100}$) der Höhe eines Schraubenganges fortrückt . . . (3) Endlich erhellet vorzüglich mit Berücksichtigung des Satzes (†) auf S. 133 von selbst, daß — wenn eine Schraubenspindel, indem sie gedreht wird, nach der Richtung ihrer Axe fortzurücken gehindert wird (z. B. durch unbewegliche Lager, worin sich ihre Enden unverrückbar drehen u. dgl.), während die Mutter, ohne daß ihr eine Drehung mit der Spindel möglich ist, sich längs der Spindelaxe bewegen kann — die Mutter in der Zeit, in welcher die Spindel eine ganze Umdrehung oder irgend einen aliquoten Theil derselben macht, um die ganze Höhe eines Schraubenganges oder einen gleichen aliquoten Theil derselben geradlinig fortrücken muß; nur ist natürlich die Richtung dieses Fortrückens jener gerade entgegengesetzt, nach welcher die Spindel fortrücken würde, wenn sie daran nicht gehindert wäre . . . (4).

Anwendungen der Schraube. Von den vielen und verschiedenen, nützlichen Anwendungen, die von der Schraube gemacht werden, soll hier nur die Anwendung bei folgenden, ebenso für den Physiker wie für den Techniker wichtigen Meßapparaten besprochen werden. Bei diesen bildet nämlich den wesentlichsten Bestandtheil eine Schraube von vollkommen gleicher Höhe aller Gänge (die sich durch ein gehöriges Verfahren beim Schneiden der Schrauben auch erreichen läßt), und es sind:

1. Das Schraubenmikrometer, welches in Wesenheit aus einer feinen Schraube (einer sogenannten Mikrometerschraube), bei welcher nämlich auf einen bestimmten Theil ihrer Länge (z. B. 1 Zoll) recht viele (bis 144 und darüber) Gänge gehen, besteht und zur genauen Messung sehr kleiner Längen dient. Eine der verschiedenen zur Erreichung dieses Zweckes geeigneten Einrichtungen zeigt Fig. 116. Die Spindel S mit dem feinen Schraubengewinde geht durch den Vordertheil bc des bei b und c abgebrochen dargestellten Rahmens bcde und wird darin durch die an ihr angebrachte Verdickung m zurückgehalten, so daß sie sich wohl um ihre Axe drehen, nicht aber der Länge nach verschieben kann. Sie geht ferner durch die Schraubenmutter M, welche sich in Nuthen 1, 2 längs der Rahmenstücke bd und ce hin- und herschieben läßt, und trägt am andern Ende eine Scheibe N, die am Umfange mit einer Theilung versehen ist. Faßt man nun die Schraubenspindel an dem ränderirten Kopfe K und dreht sie, so rückt die Mutter M so vielmal um die Höhe eines Schraubenganges vor oder zurück, als die Schraubenspindel nach der einen oder der andern Seite hin ganze Umdrehungen macht. Der Nullpunkt der Theilung auf dem am Rahmentheile bc befestigten Bogenstücke R gibt den fixen Punkt ab, in Bezug auf welchen die Drehung der Schraubenspindel und der Scheibe N immer betrachtet wird, und die Theilung des Bogens R selbst bildet zur Theilung auf N den Nonius. — Wäre

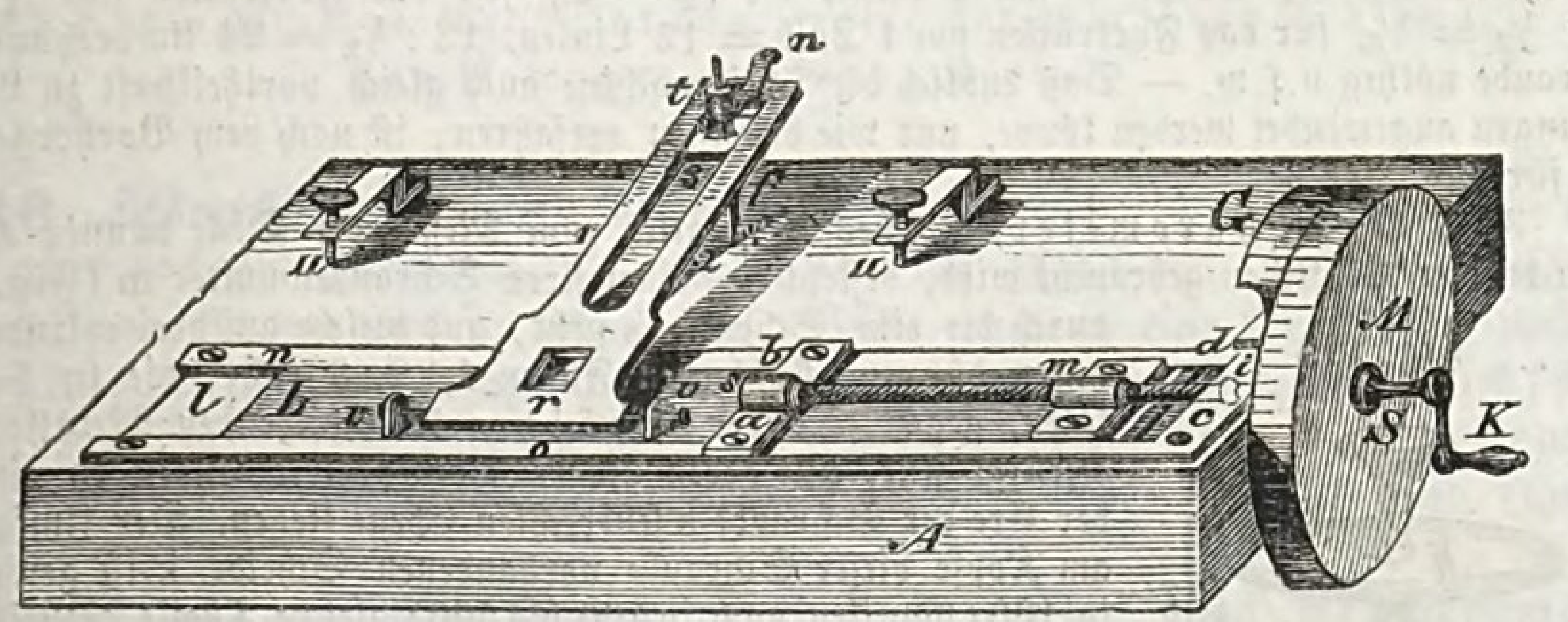
Fig. 116.



z. B. die Höhe eines Schraubenganges 1 Linie und die Scheibe N in 100 gleiche Theile eingetheilt, so würde bei jeder Drehung der Schraubenspindel S um einen Theilstrich der Eintheilung auf N die Schraubenmutter M, nach (3) und (4) auf Seite 136, um $1/_{100}$ Linie fortrücken. Wäre ferner der Nonius R so eingerichtet, daß er Zehntel der Unterabtheilungen auf der Scheibe N mißt, so könnte man mittelst des beschriebenen Apparates noch Längen bis auf $1/_{1000}$ Linie messen. Das Verfahren bei solchen Messungen besteht, wie nun für sich einleuchtet, darin, daß man der zu messenden Längendimension eine zur Schraubenspindel S parallele Richtung gibt, hierauf den einen Endpunkt dieser Dimension genau in die Ebene entweder der vordern oder der hintern vertikalen Seitenfläche v oder w der Mutter M bringt, dann diese Mutter durch entsprechendes Drehen der Schraubenspindel S bis an den zweiten Endpunkt der zu messenden Längendimension fortrücken macht und endlich aus der Anzahl der Unterabtheilungen auf N, um welche die Schraube S zu diesem Ende gedreht werden mußte, den Weg berechnet, den die Schraubenmutter zurückgelegt hat, indem man nämlich den bereits bekannten, oder vorher ermittelten Bruchtheil der Schraubenganghöhe, um welchen die Schraubenmutter fortrückt, während die Schraubenspindel um einen Theilstrich der Scheibe N gedreht wird, mit der Anzahl der Theilstriche multiplicirt, um welche man die Schraubenspindel wirklich drehen mußte. Die Ermittlung des besagten Bruchtheils der Schraubenganghöhe geschieht aber leicht dadurch, daß man die Schraube mehrere Male dreht, bis sich die Mutter genau um eine bestimmte Länge, z. B. um 1 Zoll = 12 Linien fortbewegt hat, und hernach diese Länge durch die Anzahl Unterabtheilungen auf N dividirt, um welche die Schraubenspindel gedreht wurde. Wäre so z. B. die in 100 Theile getheilte Scheibe N 10·05mal gedreht worden, so erhielte man den einer Unterabtheilung derselben entsprechenden Bruchtheil der Schraubenganghöhe = 12 : 10·05 = 0·0118 . . . Linien. Wir werden bei den Mikroskopen in der Lehre vom Lichte einen Meßapparat der eben beschriebenen Art angewendet finden, der Längen (Durchmesser sehr kleiner Objectchen) von $1/_{100000}$ Zoll zu messen gestattet, und nur darin von dem hier beschriebenen verschieden ist, daß sich in den Nuthen 1, 2 bei Drehung der Schraubenspindel nicht die Schraubenmutter selbst, sondern ein auf ihr festgemachtes horizontales Tischchen verschiebt, worauf das betreffende Objectchen gelegt wird. Indem man dann durch ein entsprechendes Drehen der Schraube das besagte Tischchen so stellt, daß das eine Ende des zu messenden Durchmessers mit einem im Mikroskope sichtbaren, unbeweglichen Faden (der ebenfalls horizontal und auf die Richtung der Bewegung des Tischchens senkrecht steht) zusammenfällt, hierauf das Tischchen bis zum Zusammenfallen des Fadens mit dem zweiten Ende des zu messenden Durchmessers verschiebt, ergibt sich durch die nämliche vorhin auseinander gesetzte Division die Größe des letzteren.

2. Die Schraubentheilmaschine dient dazu, um Längenausdehnungen, z. B. Maßstäbe und Nonien, Thermometerscalen u. s. w., in eine bestimmte Anzahl gleich langer Theile zu theilen. Die Fig. 117 zeigt eine der verschiedenen Einrichtungen, die man diesem In-

Fig. 117.

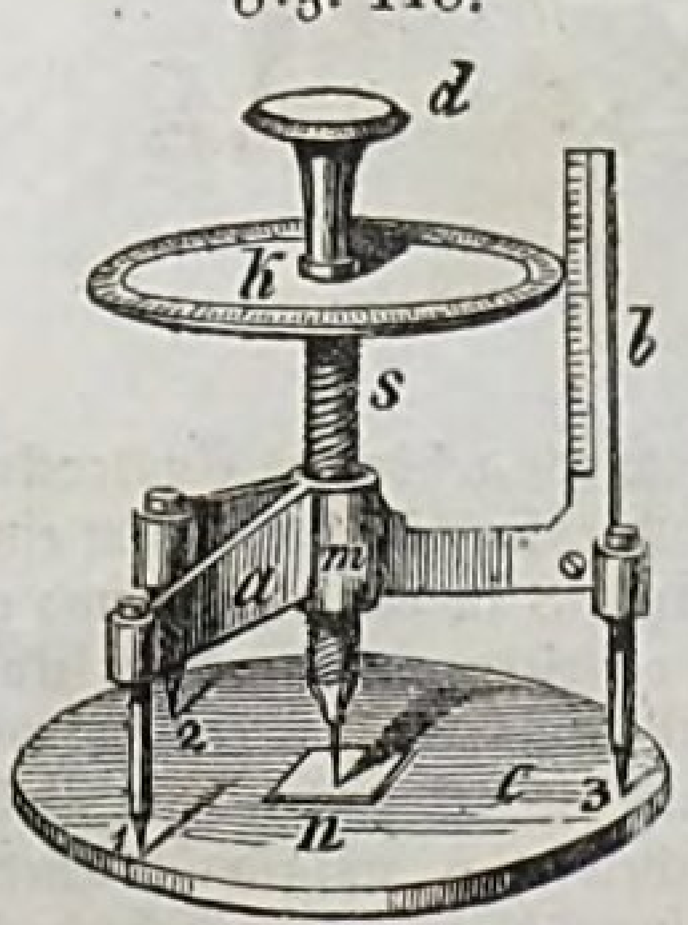


strumente geben kann. A ist eine Bohle (dickes Bret) aus hartem, durch gehöriges Austrocknen gegen das Werfen gesicherten Holze. Ss ist eine Mikrometerschraube; sie läuft mit dem einen Ende s und mit der etwas verdickten Stelle i nahe am zweiten Ende S in Lagern ab und cd, wird darin durch aufgeschraubte Halsstücke (wie man bei ab sieht) erhalten, und die Verdickung i verhindert jede Bewegung derselben in der Richtung ihrer Länge. Das Ende S der Schraubenspindel trägt eine an ihrem Umfange eingetheilte Scheibe M und eine Kurbel K zum Behuf des leichteren Drehens der Schraube. Der an dem Umfange der Scheibe sich innig anschließende und auf dem Brete A befestigte Kreisbogen G bildet den Nonius zur Theilung der Scheibe M, während zugleich der Nullpunkt seiner Theilung als fixer Punkt dient, auf welchen stets die Drehung der Schraube bezogen wird. Die Mutter m der Schraube ist an dem einen Ende

eines messingenen Lineals L festgeschraubt, das sich der Länge nach auf einem zweiten messingenen Lineale l und zwischen Messingschienen o, n (die auf l festgeschraubt, unter sich parallel und an den einander zugekehrten Seitenflächen von oben nach unten abgeschrägt sind), in einer Nuth von schwalbenschwanzförmigem Querschnitt ganz genau verschieben läßt. Das Lineal L trägt an seinem von der Schraube entfernteren Ende einen um die horizontalen Spitzen (Körner) v, v genau in einer Vertikalebene bewegliche Messingrahmen r, in welchem zwischen den Seitentheilen 1, 2 wieder mit Hilfe angebrachter Nuthen ein Messingstück 3, sich immer genau parallel bleibend, vor- und rückwärts schieben läßt; in diesem Stücke 3 kann eine Blei-, eine Reißfeder oder ein Reißstahl f in aufrechter Stellung festgeschraubt werden. — Beim Gebrauch der Theilmaschine wird das Papier, der Holz- oder Metallstreifen oder dgl., worauf eine bestimmte Länge (Linie) in eine gewisse Anzahl gleicher Theile getheilt werden soll, auf dem Brete A mittelst zu diesem Behufe daselbst angebrachter Klemmschrauben u, u oder auf irgend eine andere passende Weise so festgemacht, daß die zu theilende Linie der Richtung, in welcher sich das Lineal L verschiebt, völlig parallel ist; hierauf wird durch entsprechendes Drehen der Schraube S die Spitze w der Blei-, der Reißfeder oder des Reißstahles mit dem einen Endpunkte der zu theilenden Linie genau zusammenfallen gemacht, nun der Stand der Scheibe M gegen den Bogen G (welcher Theilstrich von M, z. B. mit dem Nullpunkte von G zusammenfällt) notirt, und endlich wieder so lange die Schraube gedreht, bis die besagte Spitze w mit dem zweiten Ende der zu theilenden Linie zusammenfällt. Die Anzahl Unterabtheilungen der Scheibe M, um welche gedreht werden mußte (d. h. welche an dem Nullpunkte des Bogens G vorübergehen mußten) bis die Spitze w die ganze Länge der zu theilenden Linie durchwandert hatte, durch die Zahl der gleichen Stücke, in welche die Linie zu theilen ist, dividirt, gibt die Anzahl Unterabtheilungen, um welche die Scheibe M gedreht werden muß, damit die Spitze um die Länge eines der beabsichtigten Theilstriche weiter rückt. Die Verschiebbarkeit der Blei-, Reißfeder oder des Reißstahles zwischen den Seitentheilen 1, 2 des Rahmens r gestattet, den Theilstrichen eine ziemliche und verschiedene Länge zu geben. Soll der Reißstahl dickere Theilstriche machen, so wird auf sein oberes aus dem Rahmen r hervorragendes Ende ein entsprechendes Gewicht t aufgesteckt. Kennt man die Länge der zu theilenden Linie und die Höhe eines Ganges der Mikrometerschraube, so gibt die Division der ersteren durch die letztere die Anzahl Umdrehungen (in ganzen oder gebrochenen Zahlen), welche die Schraube machen muß, damit die oft genannte Spitze w die Länge der zu theilenden Linie durchläuft. Dividirt man diese Anzahl Umdrehungen durch die Zahl der gleichen Stücke, in welche die Linie getheilt werden soll, so gibt der Quotient die für jedes solche Theilstück nöthige (ganze oder gebrochene) Zahl von Umdrehungen der Schraube. Ebenso leicht wird aus der bekannten Ganghöhe der Schraube die Anzahl der Unterabtheilungen berechnet, um welche die Scheibe M gedreht werden muß, damit die Spitze w, z. B. um $1/_{100}$, $1/_{10}$, $1/_2$ u. s. f. einer Wiener Linie, eines Wiener oder Pariser Zolles, eines Millimeters, Centimeters oder dgl. weiterrückt, so daß man dann mittelst der Theilmaschine genaue Theilungen, etwa in Zolle, Linien und aliquote (d. i. Bruch-) Theile derselben ausführen kann. Hätte z. B. die Schraube $1/_2$ Wiener Linie Ganghöhe, so wären für das Fortrücken der Spitze w um 1 Linie, $1 : 1/_2 = 2$, für das Fortrücken um $1/_{10}$ Linie $1/_{10} : 1/_2 = 1/_5$, für das Fortrücken um 1 Zoll = 12 Linien, $12 : 1/_2 = 24$ Umdrehungen der Schraube nöthig u. s. w. — Daß endlich die Theilmaschine auch gleich vortheilhaft zu Längenmessungen angewendet werden könne, und wie dabei zu verfahren, ist nach dem Vorhergehenden nun für sich klar.

3. Das Sphärometer, welches vorzüglich zum Messen der Dicke dünner Körper, z. B. dünner Plättchen gebraucht wird, besteht aus einer fixen Schraubenmutter m (Fig. 118), durch die eine Schraube s geht, und welche auf drei cylindrischen, unten dünnen, stählernen Füßen 1, 2, 3 ruht, die in horizontalen, gegen einander Winkel von 120° bildenden Metallarmen a befestigt sind, und deren untere wohl polirte Enden in einer auf der Axe der Schraube s senkrechten Ebene liegen. Der Umfang der am Kopfe dieser Schraube vorhandenen Scheibe k ist gewöhnlich in 100 (zuweilen auch in 400 bis 500) gleiche Theile getheilt; am untern Ende ist die Schraube wie die Füße 1, 2, 3 gestaltet. Das vertikale Metallstück b dient als unbeweglicher Zeiger für die Theilung der Scheibe k und dasselbe ist auch der Länge nach mit einer Theilung versehen, so daß man aus dem Weiterrücken der Scheibe k längst dieser Theilung die Anzahl der von der Schraube s gemachten Umgänge ersehen kann. c ist eine vollkommen ebene Glasplatte und d ein ränderirter Knopf, an welchen man die Schraube, um sie zu drehen, ergreift. Um die Dicke eines dünnen Gegenstandes, z. B. eines Plättchens n zu bestimmen, schraubt man zuerst die Schraube s so weit herab, bis ihr unteres Ende mit den Enden

Fig. 118.



der drei Füße in einerlei Ebene liegt, d. h. mit denselben gleichzeitig auf der ebenen Glasplatte c aufsteht, bemerkt nun den Theilstrich der Scheibentheilung, bei welchem der Zeiger b steht, und zugleich den Stand der Scheibe k an der Theilung dieses Zeigers, schraubt dann die Schraube so weit in die Höhe, daß man den Gegenstand, dessen Dicke gemessen werden soll, unter die Schraube bringen kann und ihr unteres Ende denselben berührt, ohne daß auch nur einer der drei Füße 1, 2, 3 aufgehört hat, die Glasplatte c zu berühren, bemerkt jetzt wieder die Theilstriche der Scheibe und des Zeigers, welche nun zusammenfallen und findet endlich die Dicke des betreffenden Gegenstandes, indem man die bekannte Höhe eines Ganges der Schraube s mit der Anzahl der ganzen Umdrehungen und der Bruchtheile derselben multiplicirt, welche die Schraube machen mußte, um von der Berührung der Glasplatte c zur Berührung des auf seine Dicke in Untersuchung genommenen Gegenstandes überzugehen. Betrüge z. B. die Höhe eines Schraubenganges $^1/_{10}$ Wiener Linie, und die Schraube hätte von der einen der besagten Berührungen bis zur andern $^{25}/_{100}$ einer Umdrehung gemacht, so wäre die Dicke des in Messung genommenen Gegenstandes $= {}^1/_{10} \times {}^{25}/_{100} = {}^1/_{40}$ Wiener Linie.

Das Sphärometer dient ferner auch zur Untersuchung, ob die Oberfläche eines für eben gehaltenen Körpers auch wirklich ganz eben sei, oder auch ob ein sphärisch (kugelförmig) gekrümmt scheinender Körper in der That eine solche Krümmung besitze; denn setzt man auf den Körper mit scheinbar ebener oder sphärisch gekrümmter Oberfläche das Sphärometer so auf, daß gleichzeitig die drei Füße 1, 2, 3, und das untere Ende der Schraube s die zu untersuchende Oberfläche in einem Theile berühren, so muß, wenn diese Oberfläche in ihrer ganzen Ausdehnung eben oder genau sphärisch gestaltet ist, sich das Sphärometer über alle Theile derselben hinführen lassen, ohne daß bei unverrückt belassener Stellung der Schraube die gleichzeitige Berührung durch die bezeichneten vier Punkte auch nur einen Augenblick fortzubestehen aufhört.

Da es bei allen jetzt beschriebenen Anwendungen der Mikrometerschrauben wesentlich ist, daß die Schraube an allen Stellen sehr genau in die Schraubenmutter paßt, so ist es, damit dieser genaue Gang der Schraube in der Mutter, durch Einschmirgeln (Einschleifen) der ersteren in die letztere gehörig hergestellt, auch bei häufigem Gebrauch des Instrumentes immer erhalten werden könne, nothwendig, die Schraubenmutter aus zwei Stücken zusammenzusetzen, welche anfangs die Schraubenspindel nicht an ihrem ganzen Umfange umschließen, an denselben aber durch seitliche Schrauben oder Federn in dem Maße stärker angedrückt werden, als der Körper der Schraubenspindel durch die beständige Reibung abgeschliffen und dünner wird.

V. Abschnitt.

Von den durch gleichzeitige Wirkung zweier verschiedener Kräfte erzeugten Bewegungen fester Körper.

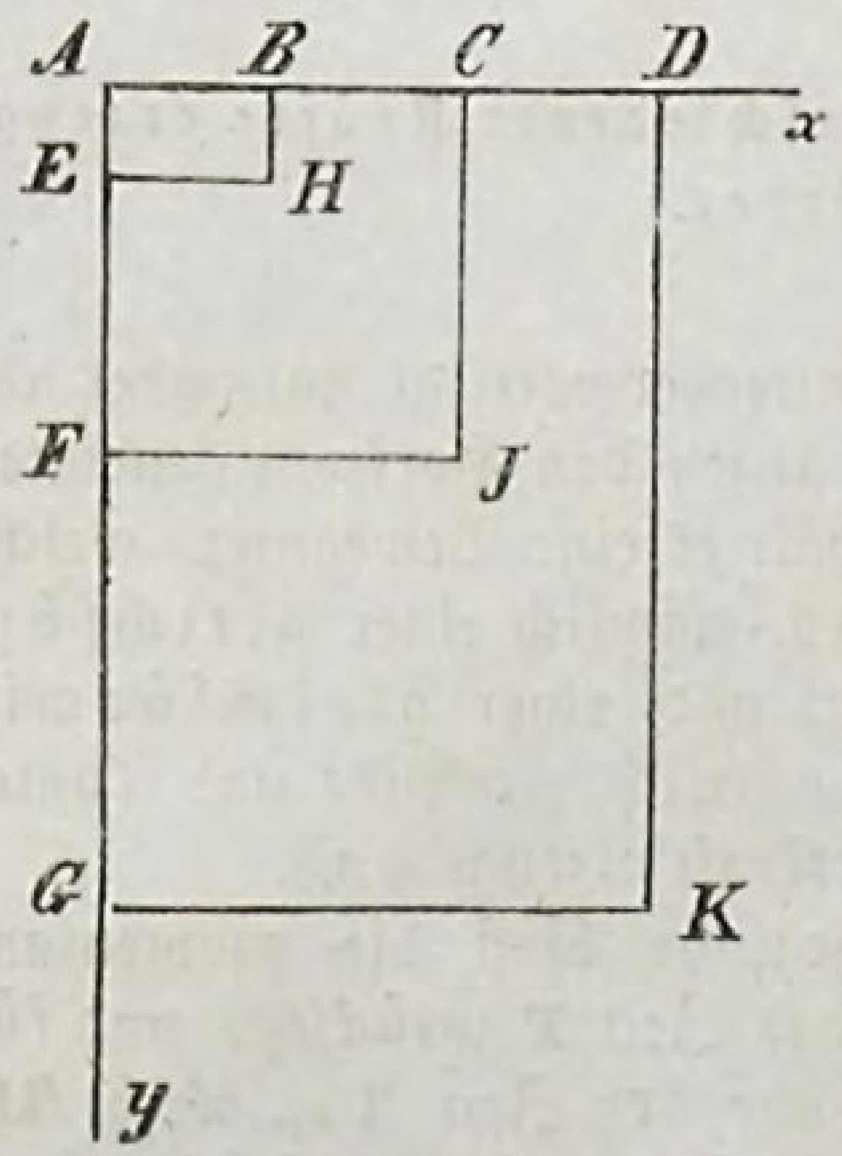
90. Wurfbewegung. Ein Körper kann entweder vertikal auf- oder abwärts, oder er kann horizontal oder endlich in einer gegen den Horizont geneigten Richtung geworfen werden. In jedem dieser Fälle erhält er eine Bewegung, welche das Resultat der Zusammensetzung zweier Bewegungen, nämlich einer gleichförmigen, die durch die momentan wirkende Wurfkraft und einer gleichförmig beschleunigten Bewegung, welche durch die continuirlich wirkende und (unter der in **70** angegebenen Bedingung) beständige Schwerkraft erzeugt wird.

Vertikaler Wurf. Wirkte auf das Bewegliche bloß die momentane Wurfkraft, so hätte man für den Weg **S**, den es in einer Zeit **T** zurücklegt und für die Endgeschwindigkeit **C** (die Geschwindigkeit am Ende der Zeit **T**), nach **48** die Werthe $\mathbf{S = VT}$ und $\mathbf{C = V}$, wenn **V** die Anfangsgeschwindigkeit (d. i. die Geschwindigkeit, die in der Zeiteinheit erlangt wird) bezeichnet. Stünde hingegen das Bewegliche unter der alleinigen Wirkung der Schwerkraft, so wäre, wenn $\mathbf{S_1}$, $\mathbf{T_1}$ und $\mathbf{C_1}$ für die Schwerkraft die nämliche Bedeutung haben, wie **S**, **T** und **C** für die Wurfkraft, nach Formel (27) und (26) auf S. 65, $\mathbf{S_1} = \frac{\mathbf{gT_1}^2}{2}$ und $\mathbf{C_1 = gT_1}$.

Da nun in der Wirklichkeit die Wurf- und die Schwerkraft gleichzeitig wirken, so muß der Schwerpunkt des Beweglichen, welcher als Angriffspunkt beider Kräfte anzusehen ist, wenn letzteres vertikal abwärts geworfen und die Zeit **T** hindurch in Bewegung gedacht wird, einen Weg $S_2 = VT + \frac{gT^2}{2}$ zurücklegen und die Endgeschwindigkeit $C_2 = V + gT$ erlangen, da in diesem Falle die beiden Kräfte nach der nämlichen Richtung wirken, ihre Wirkungen sich somit summiren. Hingegen hat man für den vertikal aufwärts gerichteten Wurf, wo die resultirende Bewegung dem Unterschiede der einander gerade entgegengesetzten Componenten gleich ist, $S_2 = VT - \frac{gT^2}{2}$ .... (†) und $C_2 = V - gT$. Offenbar kann ein vertikal aufwärts geworfener Körper in dieser Richtung nur so lange steigen, bis die durch die Wurfkraft ihm ertheilte Bewegung durch die entgegengesetzte Wirkung der Schwerkraft aufgehoben, mithin seine Endgeschwindigkeit $C_2 = o$, daher auch $V - gT = o$ ... (††) ist, woraus sich für die Zeit **T**, welche hindurch der geworfene Körper vertikal in die Höhe steigt, die Gleichung $T = \frac{V}{g}$ ergibt. Setzt man diesen Werth $\frac{V}{g}$ anstatt **T** in die Gleichung (†), so erhält man für den Weg S_2, den der geworfene Körper in dieser Zeit zurücklegte, die Gleichung $S_2 = \frac{V^2}{g} - \frac{gV^2}{2g^2} = \frac{2V^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} = \frac{V^2}{2g}$ ...(†††); es erreicht daher der Schwerpunkt des Körpers und somit dieser Körper selbst in einer bestimmten Zeit eine desto größere Höhe, eine je größere Geschwindigkeit ihm die Wurfkraft ertheilt, und je geringer an dem Orte, wo er sich bewegt, die Acceleration der Schwere ist.

Horizontaler Wurf. Gesetzt, ein Körper werde von dem Orte **A** (Fig. 119) aus horizontal geworfen oder gestoßen, und es lege sein Schwerpunkt, wenn er bloß von der momentanen Wurfkraft angetrieben würde, nach der Richtung **Ax** in aufeinander folgenden gleichen Zeiten von der Größe t die (wegen nothwendiger Gleichförmigkeit der Bewegung) gleichen Wege **AB**, **BC**, **CD** u. s. w. zurück; die Räume, durch welche er in den nämlichen nach einander folgenden Zeiten t zu Folge der ihn von **A** nach **y** vertikal abwärts ziehenden Schwerkraft zu fallen sucht, seien **AE**, **EF**, **FG** u. s. w., so wird er wegen vor sich gehender Zusammensetzung beider Bewegungen nach **53** sich nach Verlauf der Zeiten t, 2t, 3t u. s. w. in den Endpunkten **H**, **J**, **K** u. s. w. der Diagonalen der Parallelogramme **ABHE**, **ACJF**, **ADKG** befinden, mithin eine Bahn beschreiben, die in **A** beginnt, durch die Punkte **H**, **J**, **K** geht und mit den Richtungen der Wurf- und der Schwerkraft in einerlei Ebene fällt. Die Gestalt dieser Bahn ergibt sich aus dem Verhältnisse der ihren Punkten angehörigen Coordinaten folgender Maßen. Wegen Gleichförmigkeit der Bewegung in der Richtung von **A** nach x ist **AB** : **AC** : **AD** = 1 : 2 : 3, somit $\overline{AB}^2 : \overline{AC}^2 : \overline{AD}^2 = 1 : 4 : 9$ ... (a) nach Satz (d) auf Seite 88 hat man $AE : AF : AG = t^2 : (2t)^2 : (3t)^2$ oder nach wirklicher Quadrirung und Division mit t^2, $AE : AF : AG = 1 : 4 : 9$ ... (b), somit aus Proportion (a) und (b) $\overline{AB}^2 : \overline{AC}^2 : \overline{AD}^2 = AE : AF : AG$ oder endlich wegen **AB** = **EH**, **AC** = **FJ** u. **AD** = **GK**,

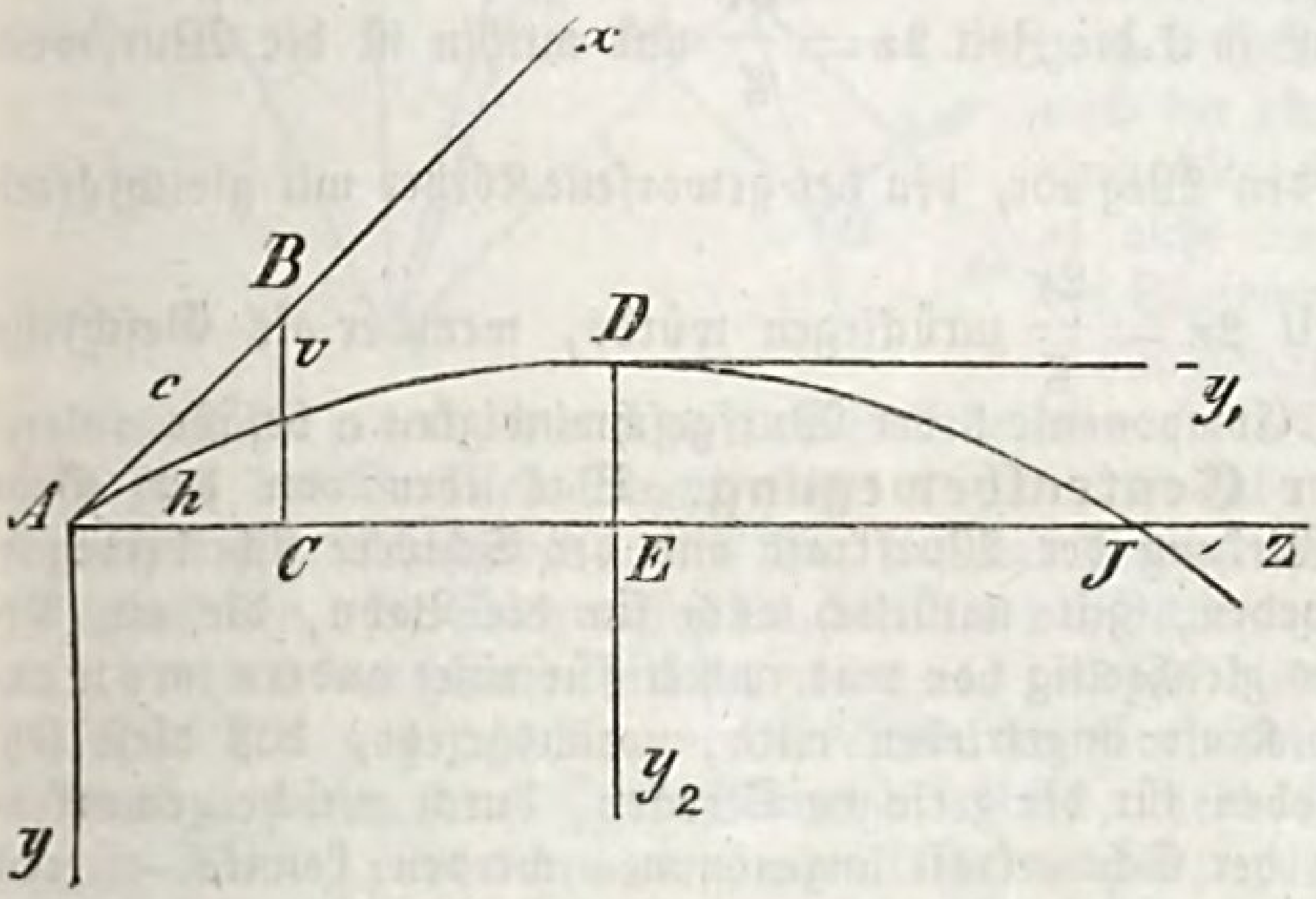
Fig. 119.



$\overline{EH}^2 : \overline{FJ}^2 : \overline{GK}^2 = AE : AF : AG$ ... (c) Nun stellen die Linien **EH, FJ** und **GK** die Ordinaten und **AE, AF, AG** die Abscissen der Punkte **H, J, K** der Bahn, auf den Anfangspunkt **A** bezogen, vor, folglich gehören diese Punkte, da sich nach (c) die Quadrate ihrer Ordinaten wie ihre Abscissen verhalten, einer Parabel an, die **A** zum Scheitel und **Ay** zur Axe hat. Da sich ganz auf dieselbe Art das nämliche Coordinaten-Verhältniß für alle Punkte der Bahn des horizontal geworfenen Körpers erweisen läßt, welche als Endpunkte der Diagonalen von Parallelogrammen erhalten werden, wenn man sich die Zusammensetzung der zwei componirenden Bewegungen in ähnlicher Weise, wie es für die Wege **AB, AC, AD** und **AE, AF, AG** geschehen, auch für die andern derlei Wege wirklich construirt denkt, welche allen möglichen Werthen von **t**, von Null angefangen, entsprechen; so beschreibt der Schwerpunkt eines horizontal geworfenen Körpers eine Parabel, die den Punkt, von dem aus die Wurfbewegung beginnt, zum Scheitel und eine vertikale Axe hat.

Schiefer Wurf. Wird ein Körper von einem Orte **A** (Fig. 120) aus nach einer mit der Vertikallinie **Ay** einen schiefen Winkel bildenden Richtung **Ax** geworfen, und stellt **AB** die Geschwindigkeit **c** vor, welche der Schwerpunkt des Körpers erlangen würde, wenn er der Wurfkraft allein folgen könnte; so kann diese Geschwindigkeit in eine horizontale Componente **AC** = **h** und in eine vertikal gerichtete Componente **CB** = **v** zerlegt werden. Während erstere den Körper in horizontaler Richtung **Az** immer weiter von **A** entfernt, macht letztere, daß derselbe sich gleichzeitig immer mehr über die durch **Az** gelegte Horizontalebene erhebt. Da die Componente **v** aber durch die den Körper fortwährend vertikal abwärts ziehende Schwerkraft immer mehr und mehr vermindert wird und diese Verminderung wegen Beständigkeit der Intensität der Schwere in gleichen Zeiten stets gleichviel beträgt, so muß der Schwerpunkt des Körpers nach mit **CB** paralleler Richtung eine gleichförmig verzögerte Bewegung (**49**) annehmen und in einem gewissen horizontalen Abstande von **A** und in einer bestimmten Zeit **z** die größte Höhe, z. B. **ED**, über dem Horizonte **Az**, d. i. die größte Wurfshöhe, erreichen. Man findet aus der, der Gleichung (††) S. 140 analog aufgestellten Gleichung $v - gz = o$ die Zeit $z = \frac{v}{g}$ ... (e) und nach Formel (†††) S. 140 die größte Wurfhöhe $DE = \frac{v^2}{2g}$.

Fig. 120.



Ist so der Schwerpunkt des Körpers im höchsten Punkte **D** seiner Bahn angelangt, so sucht er mit der ihm immer noch unverändert gebliebenen Geschwindigkeit **h** nach der horizontalen Richtung Dy_1 sich gleichförmig fortzubewegen, während ihm die Schwerkraft, von **D** vertikal abwärts, eine gleichförmig beschleunigte Bewegung zu ertheilen sucht, so daß er, wie wenn der Körper von **D** aus mit der Geschwindigkeit **h** horizontal geworfen würde, von diesem Punkte aus den absteigenden Ast **DJ** einer Parabel beschreibt, deren Scheitel in **D** und deren Axe die Vertikallinie Dy_2 ist. Offenbar bildet die Bahn, die der Schwerpunkt des schief geworfenen Körpers von **A** bis **D** beschreibt, den zweiten (aufsteigenden) Ast der Parabel, weil

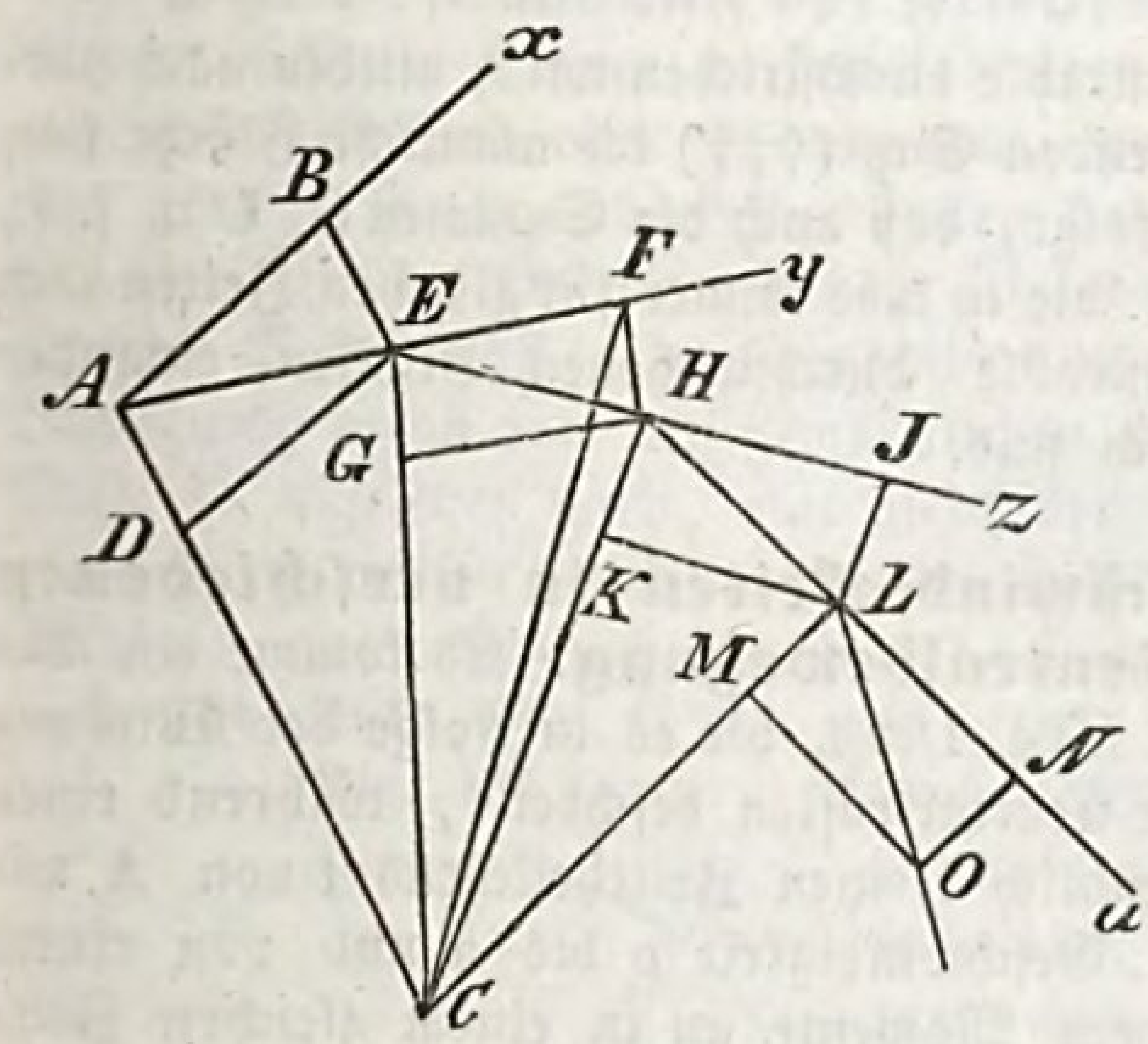
die Schwerkraft auf diesem Theile des Weges die vertikale Componente der Bewegung nach demselben Gesetze verzögert, nach welchem sie diese Componente bei der Bewegung von **D** nach **J** beschleunigt, so daß also auch die Bahn des Schwerpunktes eines schief geworfenen Körpers eine Parabel ist, welche eine vertikale Axe, ihren Scheitel aber nicht im Anfangspunkte **A** der Bewegung, sondern in ihrem höchsten Punkte **D** über der durch **A** gelegten Horizontalebene **Az** hat. Die Entfernung des Punktes **J** von **A**, in welchem die bei **A** beginnende Bahn des geworfenen Körpers wieder in der Horizentalebene eintrifft, heißt die Wurfweite. Da, wie vorn gezeigt worden, der Weg von **A** bis zum höchsten Punkt **D** der Bahn in der Zeit $z = \frac{v}{g}$ zurückgelegt, also in dieser Zeit durch die Schwerkraft die vertikal aufwärts gerichtete Componente v vernichtet wird, die Schwerkraft aber offenbar eine eben so große Zeit braucht, um dem von **D** weiter gehenden Schwerpunkt eine der vernichteten Componente v gleiche vertikale Geschwindigkeit zu ertheilen, durch deren Zusammensetzung mit der von **D** nach y_1 wirksamen horizontalen Componente er nach **J** gelangt; so verfließt vom Ausgange des geworfenen Körpers aus **A** bis zu seiner Ankunft in **J** die Zeit $2z = \frac{2v}{g}$ und mithin ist die Wurfweite $AJ = \frac{2vh}{g}$, denn sie stellt den Weg vor, den der geworfene Körper mit gleichförmiger Bewegung in der Zeit $2z = \frac{2v}{g}$ zurücklegen würde, wenn er als Geschwindigkeit nur die horizontale Componente h der Wurfgeschwindigkeit c besäße.

91. Begriff der Centralbewegung. Was eben von der Bahn eines durch gleichzeitige Wirkung der Wurfkraft und der Schwere sich bewegenden Körpers erwiesen worden, gilt natürlich auch für die Bahn, die ein Bewegliches beschreibt, welches gleichzeitig von was immer für einer andern momentanen und constanten Kraft angetrieben wird, vorausgesetzt, daß diese letztere Kraft — so wie dies oben für die geringen Strecken, durch welche geworfene Körper sich bewegen, von der Schwerkraft angenommen werden konnte — nach unter sich parallelen Richtungen wirkt. Findet dieser Parallelismus und die Constanz der continuirlich wirkenden Kraft aber nicht statt, so erfolgt die Bewegung, wie begreiflich, nach andern Gesetzen. Wir wollen hier nur den speziellen Fall betrachten, wo die continuirlich wirkende Kraft das Bewegliche ununterbrochen gegen einen fixen Punkt hinzieht, also nach gegen diesen Punkt convergirenden Richtungen wirkt, die momentane Kraft hingegen dasselbe nach einer nicht durch diesen Punkt gehenden Richtung zu treiben sucht. Die Bewegung, welche hiedurch erzeugt wird, ist immer krummlinig und heißt Centralbewegung; die beiden bewegenden Kräfte nennt man Centralkräfte und zwar jene, welche das Bewegliche fortwährend gegen einen fixen Punkt treibt, Centripetal- oder kürzer Centralkraft und die andere Centrifugalkraft; der fixe Punkt selbst heißt Centralpunkt und eine von diesem Punkte zum Beweglichen gezogene gerade Linie heißt Radiusvector oder Leitstrahl. Von dieser Art ist z. B. die Bewegung der Planeten und Kometen um die Sonne und der Monde um ihre Planeten, von welcher der Grund in der von dem Mittelpunkte der Sonne und der Planeten ausgehenden, immerfort wirksamen Anziehungskraft (allgemeinen Schwere oder Gravitation **62**) und in einem momentanen Stoß zu suchen ist, den die Planeten und ihre Monde einmal nach Richtungen erhalten haben, welche mit der Richtung der besagten Anziehungskraft von 180° verschiedene Winkel bildeten.

92. Gesetz der Centralbewegung. Jede Centralbewegung erfolgt nach dem Gesetze, daß die Flächenräume, welche der Leitstrahl in gewissen Zeiten

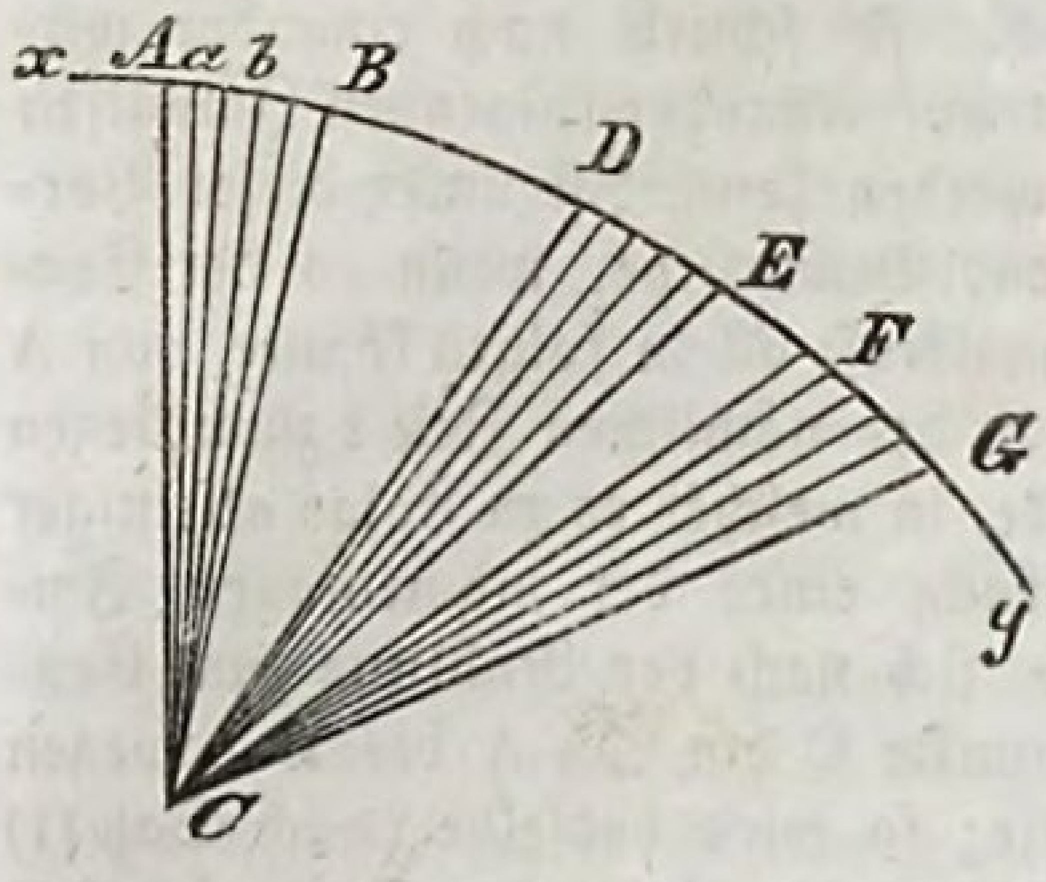
durchstreicht, diesen Zeiten direct proportional, somit die in gleichen Zeiten durchstrichenen Flächenräume gleich sind. Um dieses Gesetz zu erweisen, wollen wir nach (b) in **49**, die continuirlich wirkende Centripetalkraft als eine Summe unendlich vieler Momentankräfte (Impulse) betrachten, die so schnell nach einander wirken, daß die zwischen je zwei solchen unmittelbar auf einander folgenden Impulsen verfließende Zeit **t** als unendlich klein angesehen werden kann. Ist unter dieser Voraussetzung **AB** (Fig. 121) der Weg, welchen das Bewegliche, wenn es der Centrifugalkraft allein folgen könnte, von **A** aus in der nämlichen Zeit **t** zurücklegen würde, in welcher es zu Folge alleiniger Wirkung eines der momentanen Impulse sich nach der Richtung zum Centralpunkte **C** hin von **A** bis **D** bewegen müßte; so wird dasselbe (nach Satz (i) S. 67) in der Zeit **t** die Diagonale **AE** des Parallelogramms **ABED** durchlaufen und müßte in einer zweiten eben so großen Zeit **t**, vermöge der Trägheit, nach der verlängerten Richtung von **AE** einen Weg **EF**=**AE** zurücklegen, wenn es nicht ein neuer Impuls von Seite der Centripetalkraft in der Richtung nach **C** hin gleichzeitig durch den Weg **EG** zu treiben suchte, was in dem zweiten Zeittheilchen **t** die Bewegung durch die Diagonale **EH** des Parallelograumms **EFHG** zur nothwendigen Folge hat. Durch Fortsetzung dieser Schlußweise wird klar, daß das Bewegliche in dem dritten und vierten Zeittheilchen **t** die Diagonalen **HL** und **LO** der Bewegungs-Parallelogramme **HJKL** und **LMNO** durchlaufen müsse, wenn **HJ** und **LN** die von der Wirkung der Trägheit und **HK** und **LM** die von der Action der Centripetalkraft kommenden Componenten vorstellen u. s. f., daß somit die Bahn, die das Bewegliche beschreibt, ein in der Ebene, in welcher die Centralkräfte wirken, gelegenes Polygon mit unendlich kleinen Seiten, d. h. eine ebene krumme Linie sein werde, deren Gestalt von der Intensität der Centralkräfte, von dem Gesetze, nach welchem die Centripetalkraft wirkt und von der Lage des Centralpunktes abhängt. Die Richtungen **Ey**, **Hz**, **Lu** u. s. w., nach welchen das Bewegliche fortgehen müßte, wenn bei dessen Ankunft in **E** oder in **H** oder in **L** u. s. w. die Centripetalkraft plötzlich zu wirken aufhörte, bilden Tangenten zur krummlinigen Bahn . . . (†), was für die Bewegung in kreisförmiger Bahn schon daraus erhellt, daß in diesem Falle die Leitstrahlen **CA**, **CE**, **CH** u. s. w. als Radien des nämlichen Kreises alle gleich, daher die Dreiecke **ACE**, **ECH**, **HCL** u. s. w. alle gleichschenklig sind, und daß bei der unendlichen Kleinheit der Bahnstücke **AE**, **EH**, **HL** u. s. w. (und der denselben an **C** correspondirenden Winkel) die in jedem dieser Dreiecke an dem Bahnstücke gelegenen Winkel **CAE** und **CEA**, **CEH** und **CHE** u. s. w. zusammen als zwei Rechte, folglich jeder für sich als ein Rechter betrachtet werden kann... (††). Zieht man (in Fig. 121) die Linie **CF**, so sind die Dreiecke **ACE** und **ECF** einander gleich (weil sie gleiche Grundlinien **AE**, **EF** und einen gemeinschaftlichen Scheitel **C** haben); ebenso sind die Dreiecke **ECF** und **ECH** (weil sie über derselben Grundlinie **CE** zwischen den parallelen Linien **EC** und **FH** liegen) und mithin auch die Dreiecke **ACE** und **ECH** einander gleich. Ganz auf die nämliche Weise läßt sich die Gleichheit der Flächen von je zwei der benachbarten Dreiecke beweisen, in welchen eine Seite der Polygonalbahn die Grundlinie und der Centralpunkt den Scheitel bildet; es haben daher die Dreiecke, welche von dem Leitstrahle in unendlich kleinen, gleichen Zeiten

Fig. 121.



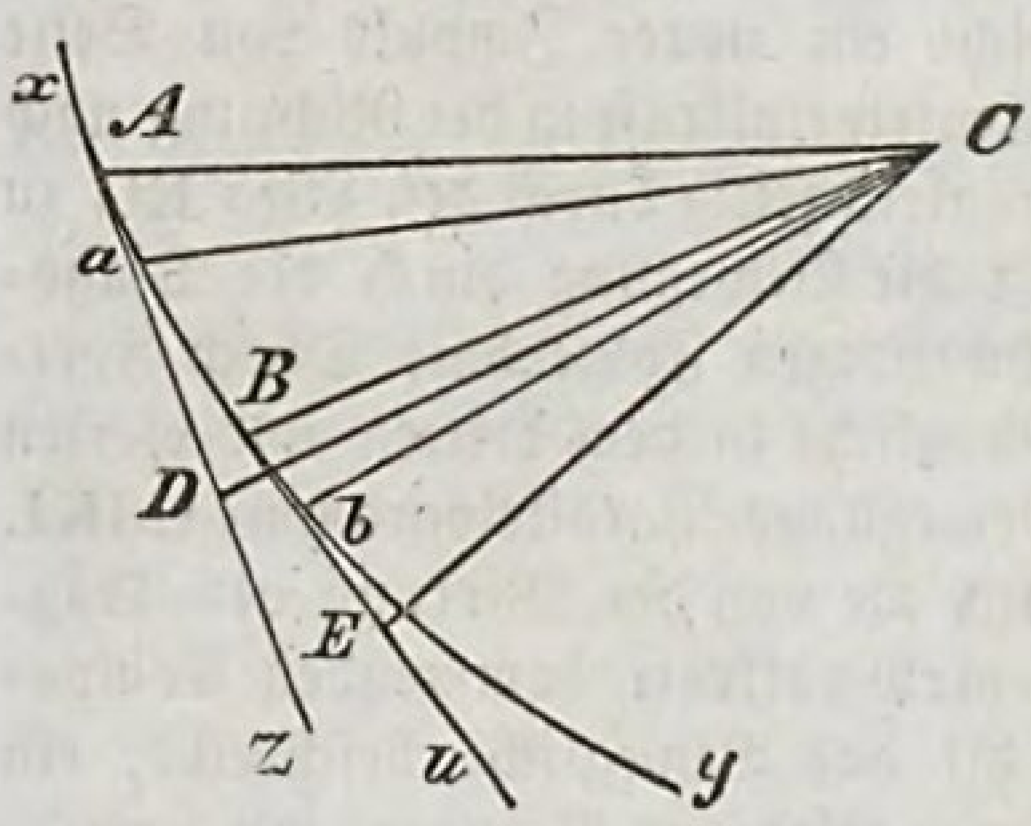
t durchstrichen werden, alle gleiche Flächen . . . (†††). Da man nun bei der Centralbewegung eines Körpers durch die krumme Bahn xy (Fig. 122) alle Flächen **ACB**, **DCE**, **FCG** u. s. f., welche der Leitstrahl in was immer für endlichen, aber gleichen Zeiten **T** durchstreicht, als Summen **S**, **U** u. s. w., jede von n unendlich kleinen Dreiecken (wie **ACa**, **aCb** u. s. w.) betrachten kann, deren jedes in der unendlich kleinen Zeit $t = \frac{T}{n}$ vom Leitstrahle durchstrichen wird, mithin nach vorstehenden Satz (†††) die nämliche Fläche hat, so folgt, daß auch die Summen **S**, **U** u. s. f., d. h. die in was immer für gleichen Zeiten vom Leitstrahle durchstrichenen Flächen einander gleich sind.

Fig. 122.



93. Verhältniß der Geschwindigkeiten in verschiedenen Punkten der Bahn bei der Centralbewegung. Es komme ein Bewegliches in der krummlinigen Bahn xy (Fig. 123), die es in Folge der Wirkung von Centralkräften beschreibt, während eines unendlich kleinen Zeittheilchens t von **A** mit der Geschwindigkeit c bis **a** und von einem andern Momente an in einem gleichen Zeittheilchen t mit der Geschwindigkeit c_1 von **B** bis b; so hat man, da die Bewegung durch eine unendlich kleine Zeit als gleichförmig betrachtet werden kann, nach (21) S. 62, $Aa = ct$ und $Bb = c_1 t$; mithin $Aa : Bb = c : c_1$ . . . (*). Ist **C** der Centralpunkt und man verbindet mit demselben die Punkte **A**, **a**, **B** und **b** durch gerade Linien, so hat man $ACa = BCb$ . . . (**) (denn diese Dreiecke sind von dem Leitstrahle in gleichen Zeiten t durchstrichenen Flächen) und wenn man aus dem Centralpunkte **C** auf die zu **A** und **B** gezogene Tangenten **Az** und **Bu** die Senkrechten **CD** und **CE** fällt, so ist $ACa = Aa . \frac{1}{2} CD$ und $BCb = Bb . \frac{1}{2} CE$ folglich, wegen (**), $Aa . \frac{1}{2} CD = Bb . \frac{1}{2} CE$ oder $Aa : Bb = CE : CD$; aus dieser Proportion und aus (*) folgt endlich $c : c_1 = CE : CD$ . . . . (a) d. h. bei der Centralbewegung verhalten sich die Geschwindigkeiten des Beweglichen in verschiedenen Stellen der Bahn verkehrt wie die Senkrechten, welche vom Centralpunkte auf die zu diesen Stellen gezogenen Tangenten gefällt werden.

Fig. 123.



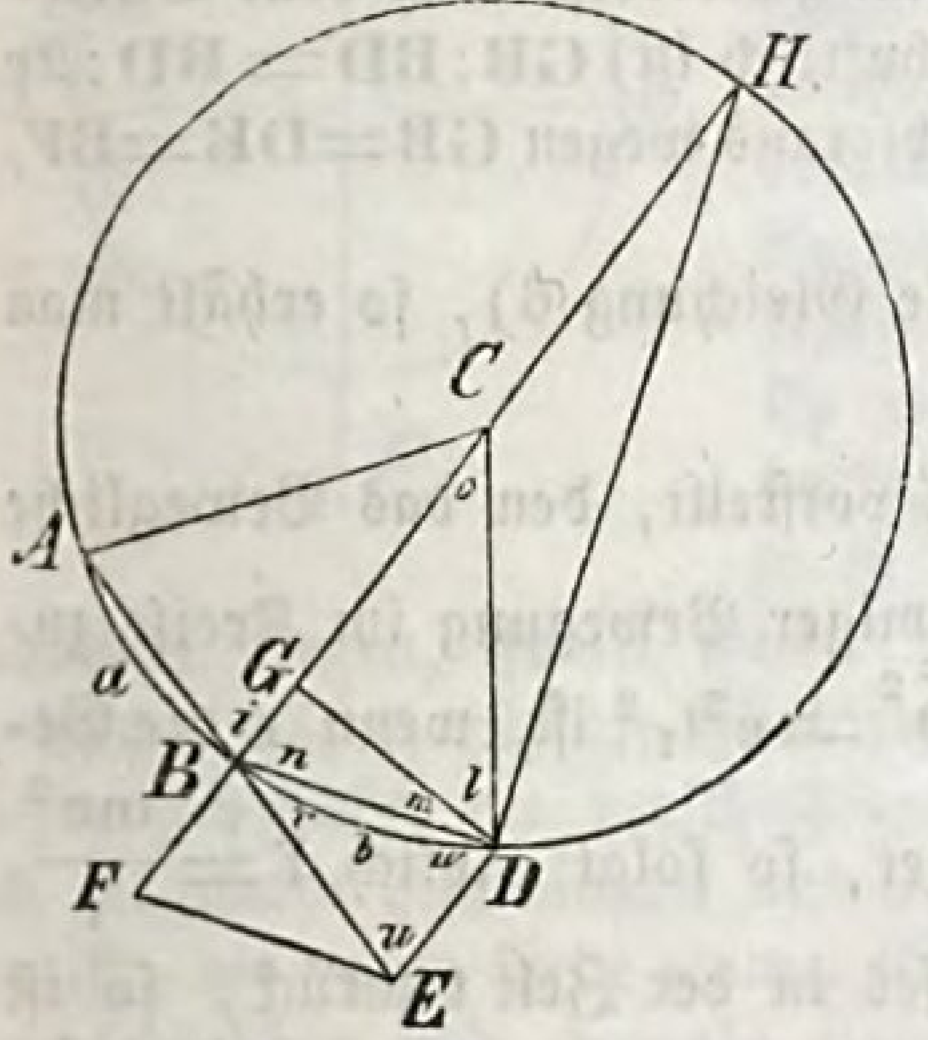
Geht die Centralbewegung in einem Kreise vor sich, so sind die besagten Senkrechten Radien des Kreises und als solche einander gleich; man hat somit in (a) $CE = CD$, folglich auch $c = c_1$ d. h. bei der Centralbewegung in einem Kreise, dessen Mittelpunkt zugleich der Centralpunkt ist, hat das Bewegliche überall dieselbe Geschwindigkeit, die Bewegung ist also eine g l e i c h f ö r m i g e . . . (b). Geht die Centralbewegung aber in einer Ellipse vor sich, in deren einem Brennpunkte sich der Centralpunkt befindet, wie dies bei den Planeten der Fall ist, welche sich in elliptischen Bahnen um die Sonne bewegen, deren in dem einen Brennpunkt befindlicher Mittelpunkt den Centralpunkt bildet; so hat das Bewegliche in dem, dem Centralpunkte nächsten Scheitel der Ellipse die größte, in dem andern Scheitel hingegen die kleinste Geschwindigkeit, und diese nimmt von ersterem zum letzteren hin stetig ab, von letzterem zu ersteren stetig zu, indem bei den Senkrechten, welche auf

die zu den verschiedenen Punkten der Ellipse gezogenen Tangenten gefällt werden, gerade das umgekehrte Verhältniß stattfindet.

94. Begriff der Fliehkraft. Bewegt sich ein Punkt oder ein Körper in krummer Bahn, so sucht er nach (†) S. 143 vermöge der Trägheit dieselbe in jedem Augenblick nach tangentialer Richtung zu verlassen. Dem zu Folge übt er fortwährend einen Druck gegen die Bahn oder einen Zug gegen dasjenige (Kraft oder Widerstand) aus, was ihn, die krumme Bahn zu verlassen, hindert, und dieser Druck oder Zug wird Fliehkraft genannt.

95. Bestimmung der Fliehkraft bei der Bewegung im Kreise. Bewegt sich ein Körper in kreisförmiger Bahn, — entweder 1. durch Wirkung von Centralkräften oder 2. deswegen, weil er in derselben durch irgend eine Kraft eine gewisse Geschwindigkeit erhalten hat, und durch einen Widerstand, welchen eine ihn mit dem Mittelpunkte der Kreisbahn verbindende Schnur, Stange oder dgl. oder die Bahn selbst leistet, verhindert wird, diese letztere zu verlassen, — so ist die Bewegung, wenn von den gewöhnlichen Hindernissen (Reibung und Widerstand des Mittels) abgesehen wird, eine gleichförmige. Für den ersten Fall wurde dies oben unter (b) bewiesen, und im zweiten Falle bewegt sich der Körper blos in Folge der Trägheit, kann demnach die einmal erlangte Geschwindigkeit nicht ändern. Es seien **AaB** und **BbD** (Fig. 124) zwei gleiche unendlich kleine Stücke der kreisförmigen

Fig. 124.



Bahn **ADH**, deren jedes von dem Beweglichen in einer unendlich kleinen Zeit t_1 zurückgelegt wird, so kann man anstatt dieser Bogenstücke die Sehnen setzen, und es ist somit **AB = BD**. Könnte der Körper, nach dem ersten Zeittheilchen t_1 in **B** angekommen, sich frei weiter bewegen, so müßte er dies vermöge der Trägheit in der verlängerten Richtung von **AB** thun, und im zweiten Zeittheilchen t_1 einen Weg **BE = AB = BD** . . . . 1) zurücklegen, so daß er am Ende dieses Zeittheilchens von dem Punkte **D**, wo er sich wirklich befindet, um die Strecke **DE** abgelenkt wäre. Zieht man durch **B** und **E** die zu **DE** und **BD** Parallelen **BF** und **EF**, so kann man die Bewegung **BE** als die Resultirende der Bewegungen **BD** und **BF** ansehen und sich das Bewegliche von **B** an unter der gleichzeitigen Wirkung zweier Kräfte denken, wovon die eine p dasselbe in der Zeit t_1 nach **D**, die andere f nach **F** zu treiben sucht. Da es aber der Voraussetzung zu Folge in dieser Zeit wirklich von **B** aus nach **D** kommt, gerade so, als wenn die Kraft p allein wirksam wäre, so muß die Kraft f (welche das Bewegliche von der Bahn zu entfernen strebt, mithin einen Druck oder Zug gegen den Widerstand oder die Kraft, wodurch es im Kreise zu bleiben genöthigt ist, verursacht und die Fliehkraft vorstellt, durch den besagten Widerstand oder Kraft) aufgehoben werden. Zieht man von **A**, **B** und **D** zu dem Mittelpunkt der Kreisbahn die Geraden **AC**, **BC**, **DC**, so ist wegen Congruenz der Dreiecke **ACB** und **BCD** (denn sie haben alle Seiten, nämlich **AC**, **BC**, **DC** als Halbmesser desselben Kreises und **AB** und **BD** nach 1) wechselweise gleich) der Winkel $i = m + l$ . . 2); ferner sind die Winkel $i + n + r = 180^0$, und eben so ist $o + n + m + l = 180^0$ . . . 3), folglich $i + n + r = o + n + m + l$ und daher mit Bezug auf 2) der Winkel $r = o$. Es sind aber auch die Winkel $r + u + w = 180^0$, mithin $r + u + w = o + n + m + l$ und wegen $r = o$ auch $u + w = n + m + l$ . . . 4) Wegen Gleichschenklichkeit der Dreiecke **BCD** und **BDE**, nach 1) und 2), endlich geht die Gleichung 4) in $2\,w = 2\,n$ oder $w = n$ über. Da w und n Wechselwinkel sind, so muß **DE** parallel zu **CB** sein, somit die zu **DE** parallele Linie **BF** in die Verlängerung von **CB** fallen; es

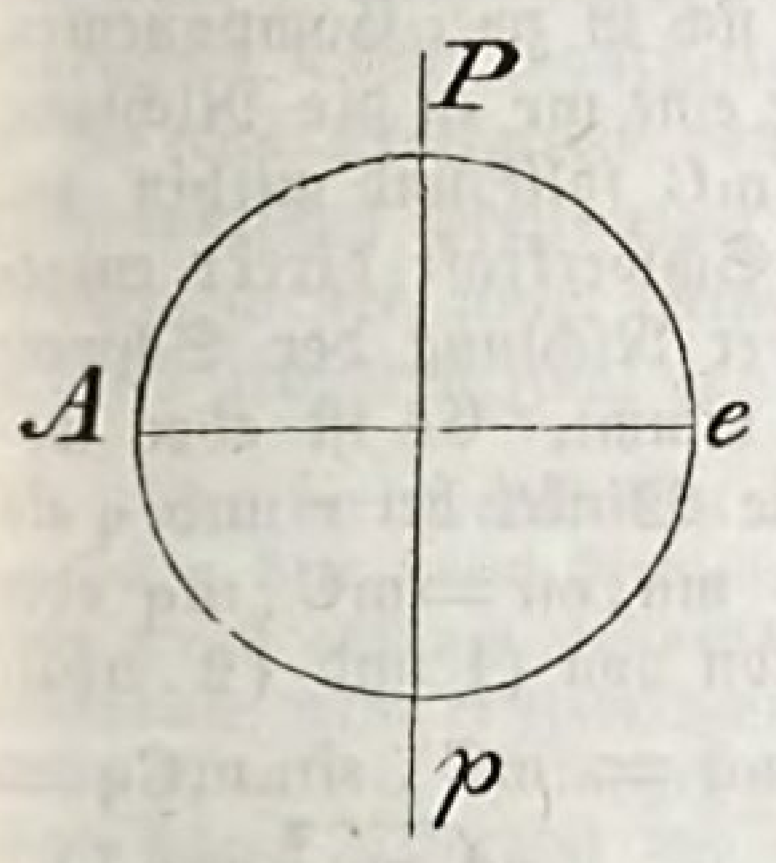
wirkt daher die Fliehkraft f in der Richtung des Halbmessers der kreisförmigen Bahn . . . 5). Um die Größe dieser Kraft zu bestimmen, darf man nur bedenken, daß **BF** den Weg vorstellt, durch welchen sie allein das Bewegliche in der unendlich kleinen Zeit t_1 treiben würde, daß sie continuirlich wirkt, und daß man (gemäß **52**) jede continuirlich wirkende Kraft eine unendlich kleine Zeit hindurch als constant ansehen könne. Dem zu Folge ist nach (31) auf S. 65 die Fliehkraft $f = mg_1$, wenn m die Masse des Beweglichen und g_1 die Acceleration, d. i. die Aenderung der Geschwindigkeit in der Zeit t_1 vorstellt. Da aber nach (29) S. 65 $g_1 = \frac{2BF}{t_1^2}$ ist, so hat man $f = \frac{2mBF}{t_1^2}$ . . . 6). Bedenkt man nun, daß in einer unendlich kleinen Zeit das Bewegliche, wenn es der Richtung **BE** folgen würde, sich nur um unendlich wenig von der kreisförmigen Bahn oder **BD** entfernen könnte, daß somit der Winkel r unendlich klein ist, und daher jeder der Winkel u und w für sich als ein rechter betrachtet werden kann, so ist auch $r + n = 90^0$ (was neuerdings den vorn auf S. 143 unter (†) und (††) ausgesprochenen Satz rechtfertigt) und ebenfalls der Winkel **BGD** ein rechter, wenn man **DG** zu **BE** parallel zieht. Verbindet man nun den Punkt **D** mit dem Endpunkte **H** des Durchmessers **BH**, so hat man wegen Aehnlichkeit der zwei Dreiecke **BDG** und **BDH** (in welchen der Winkel **BGD** nach eben Bewiesenem und der Winkel **BDH** als Winkel im Halbkreise über dem Durchmesser ein Rechter, ferner der Winkel **DBG** gemeinschaftlich ist) $GB : BD = BD : 2r$ (wenn r den Halbmesser des Kreises bezeichnet) und hieraus wegen $GB = DE = BF$, $BF = \frac{\overline{BD}^2}{2r}$. Setzt man diesen Werth für **BF** in die Gleichung 6), so erhält man die Fliehkraft $f = \frac{2m\overline{BD}^2}{2rt_1^2}$. Da aber **BD** den Weg vorstellt, den das Bewegliche während der unendlich kleinen Zeit t_1 mit gleichförmiger Bewegung im Kreise zurücklegt, somit, nach (21) S. 62, $BD = ct_1$ oder $\overline{BD}^2 = c^2t_1^2$ ist, wenn c die Geschwindigkeit bei dieser Bewegung im Kreise bedeutet, so folgt endlich $f = \frac{mc^2}{r}$. Legt der Körper den ganzen Umfang $2r\pi$ des Kreises in der Zeit t zurück, so ist nach (21) S. 62 $c = \frac{2r\pi}{t}$ und $c^2 = \frac{4r^2\pi^2}{t^2}$, somit die Fliehkraft $f = \frac{4m\pi^2 r}{t^2}$. Durchliefe ein Körper von der Masse **M** den Umfang eines Kreises vom Halbmesser **R** in der Zeit **T**, so wäre die Fliehkraft $F = \frac{4M\pi^2 R}{T^2}$; man hat mithin $F : f = \frac{MR}{T^2} : \frac{mr}{t^2}$, und aus dieser Proportion folgt, daß die bei der Bewegung in einem Kreise sich entwickelnde und nach 5) immer in der Richtung des Halbmessers wirksame Fliehkraft 1. desto größer ist, eine je größere Masse der mit bestimmter Umlaufszeit (oder Geschwindigkeit) in einer Kreisbahn von gegebenen Halbmesser sich bewegende Körper hat; 2. daß bei unveränderter Masse und Umlaufszeit die Fliehkraft so wie der Halbmesser der Bahn zunimmt, hingegen 3. im quadratischen Verhältnisse (z. B. 4, 9, 16 u. s. w. Male) kleiner wird, wenn, während die Masse und der Bahnhalbmesser ungeändert bleiben, die Umlaufszeit im einfachen Verhältnisse (z. B. auf das 2, 3, 4 fache u. s. w.) steigt.

96. Wirkungen der Fliehkraft. Unter den zahlreichen und mannigfaltigen Erscheinungen, die ihren Grund in der Wirkung der Fliehkraft haben, ist die Abplattung der Erde eine der wichtigsten. Die Erde ist nämlich, wie die genauesten Messungen und anderweitige Untersuchungen außer allen Zweifel stellten, keine

vollkommene Kugel, sondern an den Polen, d. i. an den beiden in ihre Oberfläche fallenden Endpunkten der Axe, um welche sie sich binnen 24 Stunden einmal herumdreht, und welche die Erdaxe genannt wird, abgeplattet (in **70** Seite 87), und zwar so, daß man von ihrer wahren Gestalt die beste Vorstellung bekömmt, wenn man sich denkt, sie sei durch Umdrehung einer Ellipse von sehr geringer Excentricität um die der Erdaxe gleiche, kleinere Axe entstanden; sie sei also ein elliptisches Sphäroid. Man nennt den Quotienten, welcher erhalten wird, wenn man den Unterschied zwischen der großen und kleinen Axe der besagten Ellipse durch die große Axe dividirt, die Abplattung der Erde und diese ist nach der genauesten Messung $= 1/_{308\cdot65}$; die Erde weicht also nur wenig von der Kugelform ab . . . (†), so daß diese Abweichung verhältnißmäßig eben so gering ist, wie bei einem Sphäroid, dessen halbe große Axe = 1 Fuß und die halbe kleine Axe nur um $1/_4$ Linie kleiner ist.

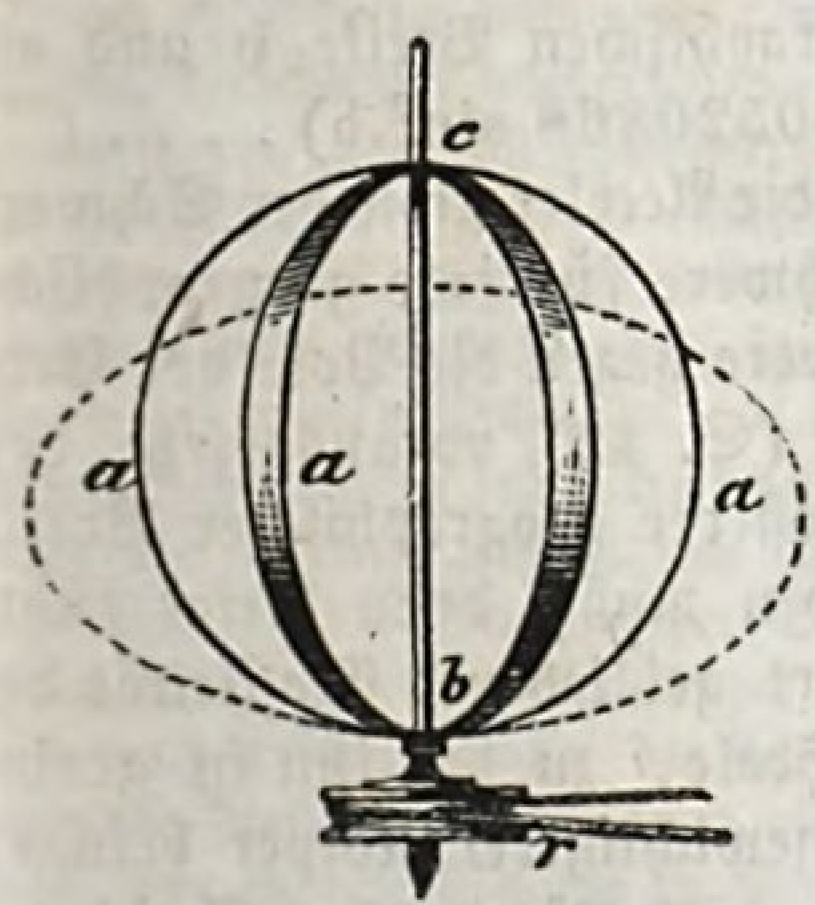
Die besagte sphäroidische Gestalt ist nothwendige Folge der Fliehkraft, welche sich bei der Axendrehung der Erde in allen außerhalb der Axe gelegenen Theilen der Erde entwickelt. Denn stellt Fig. 125 einen Durchschnitt der Erde längst ihrer Axe, **Pp** diese Axe selbst und **Ae** den Durchschnitt einer durch den Erdmittelpunkt gehenden und auf **Pp** senkrecht stehenden Ebene (welche, weil sie die Erde in zwei gleiche Theile theilt, „Aequatorsebene" genannt wird, während der Kreis **Ae**, in welchem diese Ebene die Oberfläche der Erde durchschneidet, Aequator heißt), so beschreiben alle außerhalb **Pp** liegenden materiellen Punkte des Erdkörpers binnen 24 Stunden Kreise um die Axe **Pp** und suchen in Folge der dabei sich entwickelnden Fliehkraft nach, zur Ebene **Ae** parallelen Richtungen sich von **Pp** zu entfernen. Da die Punkte alle die nämliche Umlaufszeit (von 24 Stunden) und gleiche Massen haben, so ist die Fliehkraft derjenigen, welche näher an dem Aequator liegen, somit weiter von der Umdrehungsaxe entfernt sind (nach 2. S. 146) größer, als die Fliehkraft der gegen die Pole zu liegenden Punkte, und es müssen sich daher die verschiebbaren Parthien der Erde (die Meere) von den Polen zum Aequator hindrängen und um denselben anhäufen. War, wie nicht zu bezweifeln ist, die ganze Erde einmal flüssig, so mußten auch die Theile, die jetzt fest und unverschiebbar sind, damals einer gleichen Wirkung der Fliehkraft folgen, und so entstand aus der kugelförmigen Gestalt (welche die Erde im ursprünglichen ruhenden Zustande aus demselben Grunde besitzen mußte, aus welchem wir später die Kugelgestalt eines Wassertropfens ableiten werden) die sphäroidische Gestalt, in welcher ein Grund (**70**) der durch die Erfahrung nachgewiesenen Zunahme der Schwere vom Aequator gegen die Pole der Erde hin liegt. Sehr gut läßt sich die

Fig. 125.



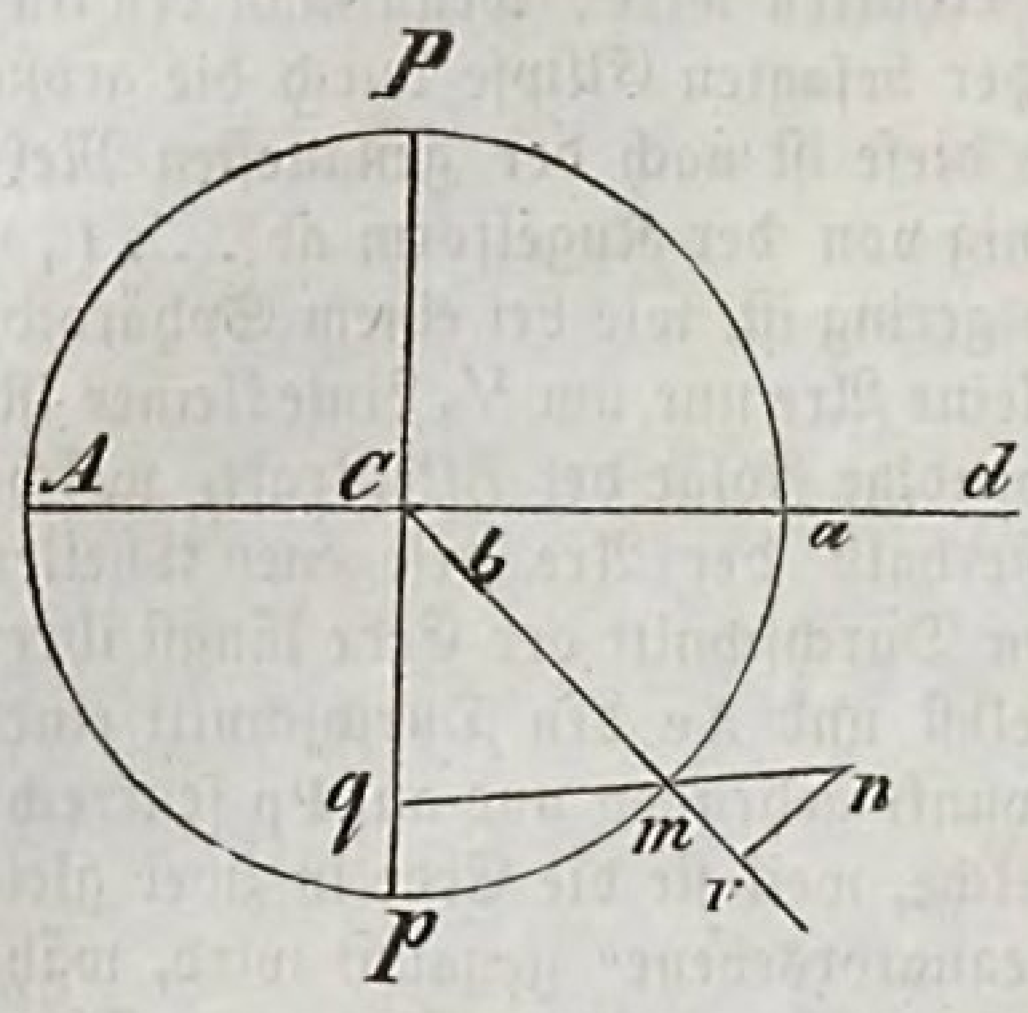
Abplattung der Erde als Folge der Fliehkraft durch eine Vorrichtung versinnlichen, welche in Fig. 126 abgebildet ist und in einem, aus dünnen kreisförmig zusammengebogenen Messingblechstreifen **a** verfertigten Kugelgerippe besteht, das sich (z. B. mittelst eines um die Rolle **r** gehenden endlosen Strickes) schnell um die vertikale Axe **bc** drehen läßt. Die Streifen **a** sind unten bei **b** an der Axe festgemacht, oben bei **c** geht diese hingegen frei durch sie hindurch. Wird das Gerippe, wie besagt, gedreht, so verliert es die Kugelgestalt und nimmt die punktirte abgeplattete Form an. Hört man auf zu drehen, so kehrt in Folge der Elasticität die ursprüngliche Kugelform wieder zurück.

Fig. 126.



Eine zweite Ursache der oben erwähnten Zunahme der Schwere liegt darin, daß die eben besprochene, aus der Rotation der Erde um ihre Axe sich entwickelnde Fliehkraft der Schwerkraft in, vom Aequator gegen die Pole hin abnehmender Stärke entgegenwirkt, wie aus folgender Betrachtung erhellt. Nehmen wir an, die Erde sei eine vollkommene Kugel, der Kreis in Fig. 127 ein Durchschnitt, C der Mittelpunkt, Pp die Rotationsaxe, Ca der Halbmesser und t die Rotationszeit derselben. Es seien ferner die Fliehkräfte, die sich an einem Punkte a des Aequators und an einem andern Punkte m von der geograph. Breite mCa = b in den Richtungen der Halbmesser aC und mq der Kreise, in welchen die Punkte a und m umlaufen, entwickeln, der Größe nach durch die Linien ad und mn ausgedrückt, so ist, da diese Kräfte (nach 2. S. 146) sich wie die Halbmesser aC und mq verhalten, ad : mn = aC : mq ...(1. Die Kraft mn läßt sich in zwei Componenten zerlegen, wovon die eine mr in die Richtung des Erdhalbmessers mC fällt und mithin der gegen C ziehenden Schwerkraft direkt entgegenwirkt, während die zweite rn auf mC, d. i. auf der Richtung der Schwere senkrecht steht und auf diese Kraft gar keinen Einfluß nimmt. Es ist aber wegen Aehnlichkeit der Dreiecke mnr und mCq (welche die Winkel bei r und q als rechte und bei m als Scheitelwinkel gleich haben) auch mn : mr = mC : mq oder mn : mr = aC : mq . . . (2, und durch Multiplikation von (1 und (2 erhält man ad : mr = $\overline{aC}^2$: $\overline{mq}^2$ . . . (3. Ferner ist mq = mC . sin.mCq = mC . cos. (90 — mCq) = mC . cos.b, mithin, nach (3, mr = $\frac{ad . \overline{mc}^2 \cos.^2 b.}{\overline{ac}^2}$ und folglich wegen mc = ac, mr = ad. cos.^{2} b, woraus man sieht, daß die, der Schwerkraft entgegenwirkende Componente (mr) der auf der Erde sich entwickelnden Fliehkraft vom Aequator gegen die Pole hin, d. i. bei zunehmender geographischer Breite (b) abnehme, mithin die Schwere zunehmen müsse. Das Nichtstattfinden der im Eingange dieser Betrachtung gemachten Voraussetzung, daß die Erde eine vollkommene Kugel sei, kann, da die Abweichung der Erde von der Kugelform nach (†) S. 147 nur sehr wenig beträgt, dieses Resultat nicht wesentlich verändern.

Fig. 127.



Die Größe der vereinigten (durch die Abplattung der Erde und zugleich durch die eben erörterte Wirkung der Fliehkraft bedingten) Zunahme der Schwere mit der geographischen Breite erhält man mittelst der aus den genauesten Pendelversuchen abgeleiteten Formel $g_1 - g = g . 0·00520868 \sin.^2 b$. . . (*), wo g_1 und g die Accelerationen der Schwere unter der geographischen Breite b und am Aequator bedeuten. Aus (*) folgt $g_1 = g\,(1 + 0·00520868 \sin^2.b)$ . . . . (**) und diese Gleichung, worin g = 30·1086 pariser Fuß die Acceleration der Schwere unterm Aequator ist, gibt die Acceleration (g_1) der Schwere für jede geographische Breite (b). Die eben nachgewiesene Zunahme der Schwere gegen die Pole der Erde hin ist Ursache, warum eine und dieselbe Federwage (S. 42), vorausgesetzt, daß sie hinreichend empfindlich sei, an einem Orte von größerer geographischer Breite für den nämlichen Körper ein größeres Gewicht angeben muß; denn dieser führt dort, wegen vermehrter Schwere hingegen unverändert gebliebener Elasticität der Feder, den Zeiger der Wage zu einem Theilstrich der Scale, zu den ihn in geringerer Breite nur ein mehr Masse enthaltender, somit gewichtigerer Körper bringen kann. Da nach (†) in **15** und nach **70** das Gewicht eines Körpers der Accelera-

tion der Schwere direkt proportional ist, so werden die Gewichte, welche die nämliche Federwage für denselben Körper in verschiedenen geographischen Breiten angibt, sich verhalten wie die unter diesen Breiten stattfindenden Accelerationen der Schwere (welche mittelst der obigen Formel (**) gefunden werden). Bei den andern (den Krämer-, den Schnell-, den Zeiger-)Wagen fällt dieser Einfluß der mit der Breite stattfindenden Zunahme der Schwerkraft weg, indem derselbe im gleichen Maße sich auf die zu wägenden Massen und die dazu dienenden Gewichte erstreckt und sich daran als zwei Kräfte äußert, die den Wagebalken nach entgegengesetzten Richtungen zu drehen suchen und gleich sind, sich somit aufheben. Es leuchtet ferner auch ein, daß Kraftmesser (S. 43), die an Orten von verschiedenen geographischen Breiten construirt worden sind, in ihren Angaben der Größe gleicher Kräfte nicht übereinstimmen können, sondern eine und dieselbe Kraft ungleich groß angeben müssen, weil die Gewichtseinheiten (Kilogramm, Pfund, Centner u. dgl.), die bei der empirischen Bestimmung der Scale eines solchen Instrumentes zu Grunde gelegt werden, in größerer Breite auf die, rücksichtlich der Elasticität sich gleich bleibende Feder desselben eine stärkere Wirkung üben, so daß es, um den Zeiger eines für eine größere geographische Breite construirten Kraftmessers auf einen bestimmten Theilpunkt, wo er z. B. eine Kraftgröße von 100 Kilogrammen anzeigt, zu bringen, in geringerer geographischer Breite einer größeren Anzahl von Kilogrammen bedarf, weßhalb dieser Kraftmesser, unter kleinere Breiten gebracht, eine und dieselbe Kraft größer, d. i. in einer größeren Zahl von Kilogrammen angeben muß.

Aus der großen Zahl anderer, auf der Wirkung der Fliehkraft beruhenden Erscheinungen sollen hier unter Hinweisung auf die drei Punkte, von denen (nach S. 146) die Stärke dieser Kraft abhängt, beispielshalber nur folgende angeführt werden: Der Hammer trennt sich vom Stiele, wenn er hinreichend schnell geschwungen wird, und zwar um so eher, je größer seine Masse [Punkt 1], je länger sein Stiel ist [2] und je schneller er bewegt wird [3]. — Ein an einem Faden hängender und um dessen Befestigungspunkt im Kreise sich bewegender Körper (z. B. eine Metallkugel) spannt den Faden desto mehr und desto eher bis zum Zerreißen, je größer sein Gewicht [1], je länger der Faden ist [2] und je schneller die Bewegung vor sich geht [3]. Große Schwungräder, Mühlsteine u. s. w. zerreißen bei zu schnellem Rotiren, so daß die Stücke herumgeschleudert werden; es wird da nämlich die Fliehkraft, welche die Theile von der Umdrehungsaxe zu entfernen sucht, größer als die sie zusammenhaltende Cohäsionskraft. — Befinden sich in einer engen Röhre ab (Fig. 128) Flüssigkeiten von verschiedenem spec. Gewichte, die sich nicht mischen, neben einander, z. B. Quecksilber ac, Oel cd und Wasser db, und die Röhre wird so geschwungen oder gedreht, daß der Punkt b sich in einem größeren Kreise bewegt, als der Punkt a, oder daß b einen Kreisbogen beschreibt, während a ruht, so ordnen sich die

Fig. 128.

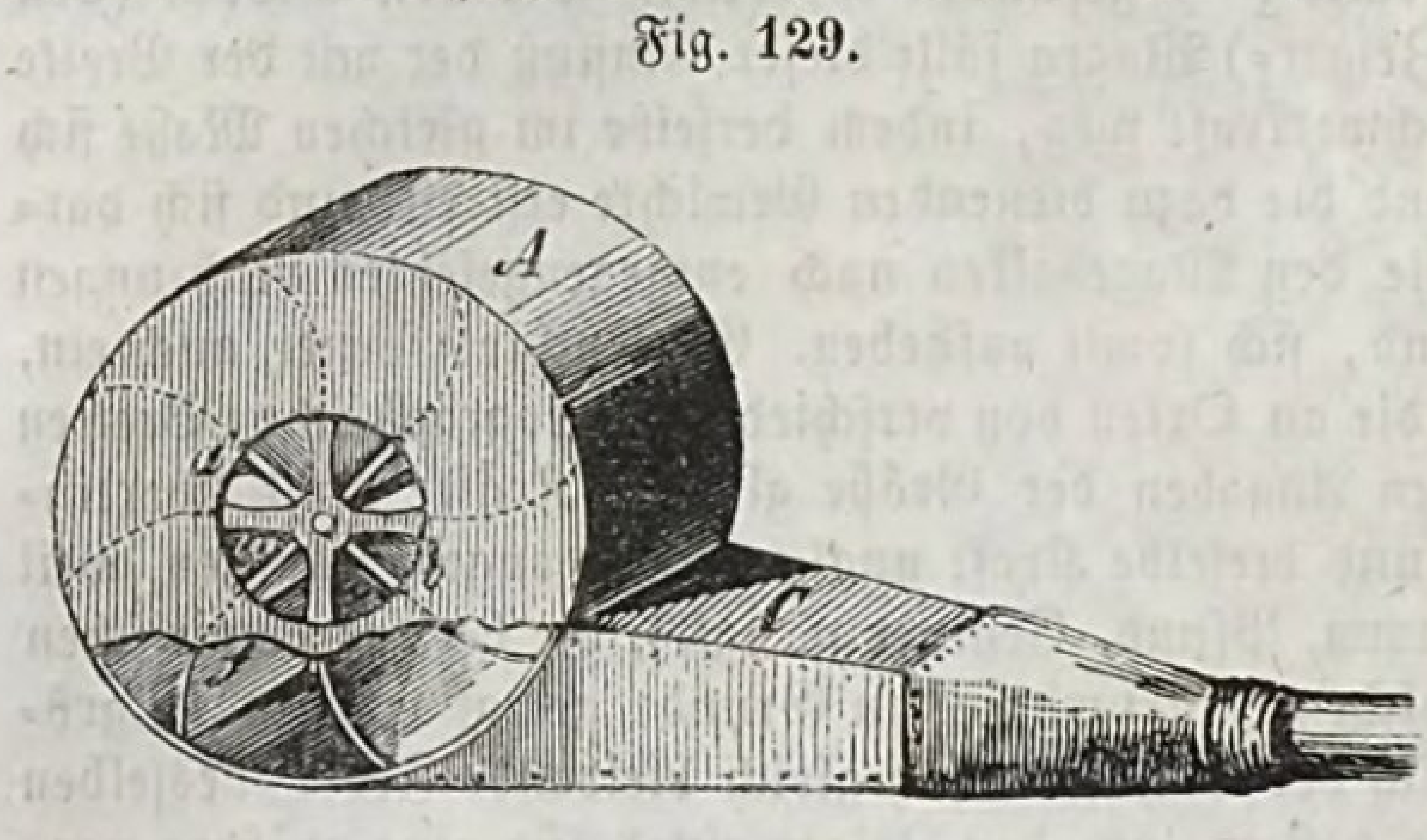


Flüssigkeiten so an, daß die specifisch schwerste Masse, nämlich das Quecksilber, dem Punkt b am nächsten ist, an diese sich das Wasser anschließt, das specifisch leichter als Quecksilber, aber schwerer als Oel ist, und dieses am weitesten von b entfernt sich befindet [3]. — Bei der Fabrikation der Glastafeln wird die mit der Pfeife aus dem Glashafen genommene Masse zuerst zu einer großen Kugel oder vielmehr Birne aufgeblasen, dieser unter wiederholtem Einblasen von Luft durch pendelartiges Hin- und Herschwenken und durch die dabei sich entwickelnde Fliehkraft allmälig immer mehr eine längliche cylinderähnliche Form gegeben, bis sie endlich zu einem, an beiden Enden kugelförmig geschlossenen Cylinder geworden ist. Nachher wird dieser durch Oeffnen und Austreiben an dem einen Ende zuerst in eine Glocke, durch hierauffolgendes Absprengen der Wölbung an dem zweiten Ende in einem beiderseits offenen Cylinder und dieser zuletzt durch Aufsprengen längs seiner Axe und entsprechende Behandlung im Streckofen in eine ebene Tafel verwandelt. — Aus der Wirkung der Fliehkraft erklärt sich endlich das Umherspritzen sich drehender nasser Räder oder anderer Gegenstände, die Wirkung der Schleuder; das Herausbringen der letzten Tropfen einer Flüssigkeit aus engen Gefäßen durch rasches Schwingen dieser letzteren im Kreise und eine große Zahl von Erscheinungen, die sich an der sogenannten Centralmaschine (in Wesenheit, ein passendes Gestell, an welchem mittelst eines Rades mit Kurbel und mit einer mit dem Rade durch eine endlose Schnur in Verbindung gesetzte horizontale Rolle verschiedene Vorrichtungen um die verlängerte Axe der Rolle sehr schnell herumgedreht werden können,) hervorbringen las-

sen, so wie die Einrichtung und Wirkung folgender, in der Praxis sehr nützliche Anwendung findender Apparate:

1. Das Centrifugalgebläse. (Fig. 129), welches in der Metallurgie und insbesondere in der Eisenfabrikation zum Betriebe der Kupol- und anderer Schmelzöfen sehr vortheilhafte Anwendung findet. A ist ein flacher (kurzer) Cylinder von Gußeisen, welcher in seinen kreisrunden Seitenwänden (Grundflächen) Oeffnungen ab und an seiner Peripherie ein Rohr C hat, welches mit dem anzublasenden Ofen in Verbindung steht. In der Axe des cylindrischen Gehäuses A befindet sich eine horizontale Welle w, die mit nach der Richtung der Halbmesser stehenden, meistens etwas gekrümmten Flügeln f aus Eisenblech versehen ist. Wird diese Stelle sehr schnell umlaufen gemacht (800 bis 2000mal in der Minute), so wird die durch die Seitenöffnungen ab zwischen die Flügel eintretende Luft in rotirende Bewegung versetzt und in Folge der dabei sich entwickelnden Fliehkraft mit Gewalt gegen die Peripherie des Gehäuses A und, da dieses die Flügel concentrisch, gewöhnlicher etwas excentrisch, immer aber möglichst nahe umgibt, durch das Ausflußrohr C in ununterbrochenem Strome dem Ofen zugetrieben, während durch die Seitenöffnungen ab beständig wieder neue Luft nahe an der Umdrehungsaxe zwischen die Flügel tritt. Dieses Gebläse empfiehlt sich durch Einfachheit, Wohlfeilheit und völlige Gleichförmigkeit der Windpressung.

Fig. 129.



2. Der Ventilator zum Reinigen der Luft in Bergwerken u. s. w. Zu einem solchen, recht gut wirkenden Ventilator wird der eben beschriebene Centrifugalapparat, wenn man sich denselben in größerem Maßstabe ausgeführt, die Flügelwelle vertikal gestellt, die Oeffnungen ab in den Seitenwänden mit einem Schlauche oder Rohre, das in den zu ventilirenden Schacht oder andern Ort des Bergwerkes hinabreicht, communicirend und endlich das Gehäuse A an der Peripherie offen, mithin die Röhre C ganz weg denkt. Wird die Flügelwelle nämlich recht schnell rotiren gemacht, so wird die Luft zwischen den Flügeln an den Enden derselben ins Freie hinausgeschleudert und der Raum zwischen den Flügeln füllt sich immer wieder mit verdorbener Luft aus dem Bergwerke, welche dann von selbst wieder durch frische ersetzt wird.

3. Die Centrifugal-Trockenmaschine (auch Hydroextracteur genannt), welche zum schnellen Trocknen der Garne oder Gewebe aus Wolle, Baumwolle u. s. w. sehr vortheilhaft und wovon eine der verschiedenen bereits existirenden Einrichtungen in Fig. 130 abgebildet ist, besteht der Wesenheit nach aus einer Trommel (cylindrischen Kasten) a, a, die sich sehr schnell um die Axe c drehen läßt, und von der man in Fig. 130 nur die eine der zwei kreisrunden Seitenflächen sieht. Ihre äußere Cylinderfläche ist durch lauter zur Axe c parallele, ziemlich nahe aneinander befindliche Stäbe gebildet; eine zweite solche Stabwand b befindet sich auch zunächst um die Axe c herum, und der Zwischenraum zwischen beiden ist wieder durch Stabreihen d in 4 Fächer abgetheilt, in deren jedes eine kleine verschließbare Thüre e führt. Um die Axe c herum befinden sich in jeder der zwei Seitenwände vier runde Oeffnungen n, damit daselbst Luft in die Trommel eintreten kann. Diese Trommel ist endlich auf allen Seiten von einem Kasten A umgeben, der oben und an den Seiten Oeffnungen zum Ein- und Austreten der Luft und unten ein Paar solcher Oeffnungen zum Abfließen des beim Gebrauch der Maschine im Kasten sich ansammelnden Wassers hat. Sind die zu trocknenden Stoffe in die vorbesagten Fächer gebracht und es wird die Trommel mittelst Kurbel, Riemscheibe oder dgl. sehr rasch um ihre Axe gedreht, so treibt die sich dabei entwickelnde Fliehkraft die durch die Oeffnungen n an der Axe eintretende Luft fortwährend durch die gegen die Stäbe a der Peripherie getriebenen nassen

Fig. 130.

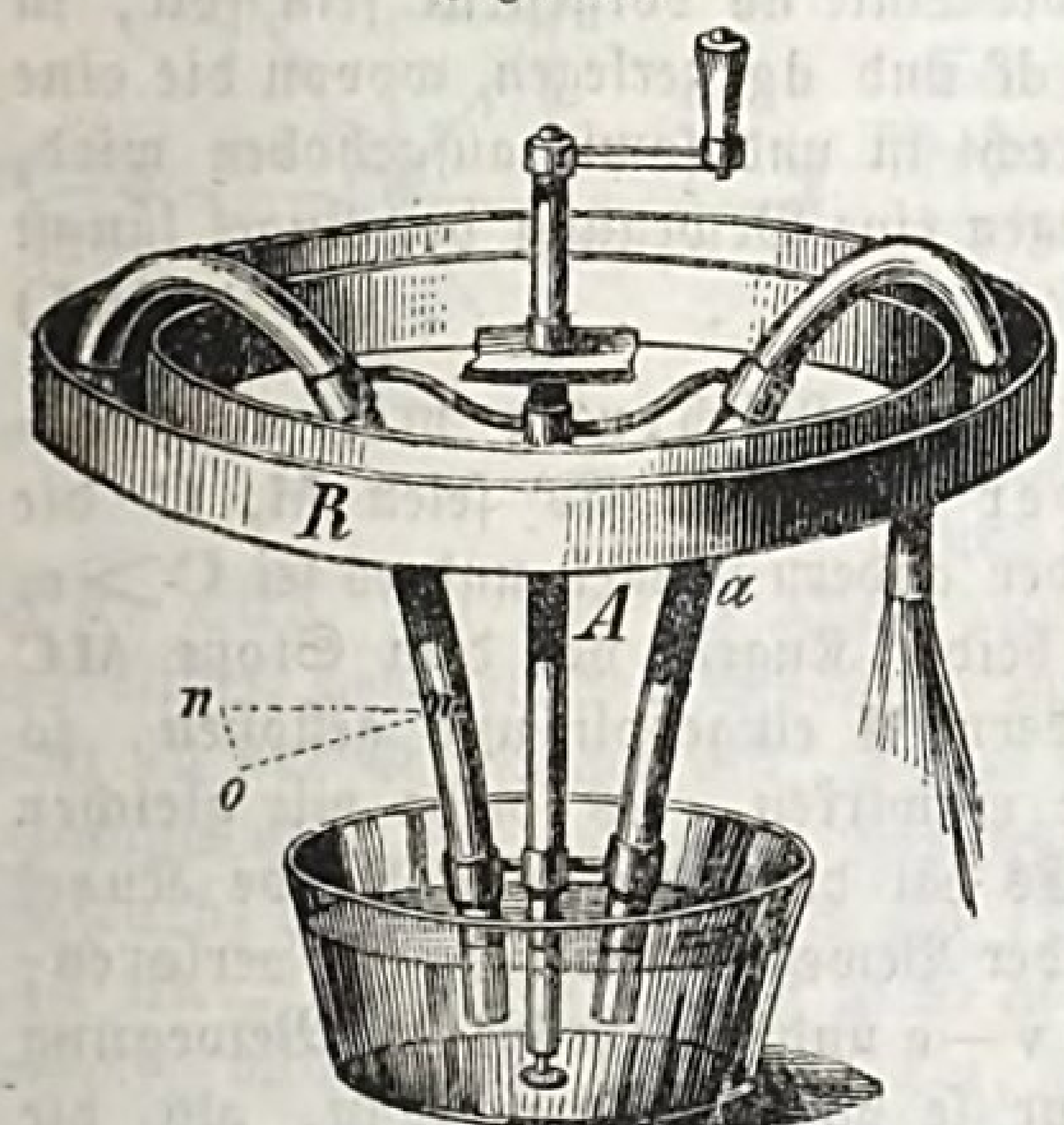


Stoffe hindurch, so daß sie denselben in kurzer Zeit alles Wasser entzieht, welches nicht für sich allein der Fliehkraft folgen, und so die Stoffe verlassen konnte.

Auf der Wirkung der Fliehkraft beruht ferner auch

4. die Wasserhebmaschine nach Heß (Fig. 131). An der vertikalen Axe A und symmetrisch um dieselbe herum sind zwei oder mehrere von unten nach aufwärts divergirende Röhren a befestigt, deren untere Enden unter Wasser tauchen, während die oberen in eine kreisrunde Rinne R hineingebogen sind. Werden die Röhren schnell genug um die Axe A gedreht, so bewegt sich auch das in denselben enthaltene Wasser im Kreise und wird darin durch Wirkung der Fliehkraft emporsteigen und endlich in die Rinne R fließen gemacht, aus welcher es dann irgend einem andern Bestimmungsorte zugeleitet werden kann. Um die Nothwendigkeit dieses Emporsteigens einzusehen, stelle die Linie mn die Größe der Fliehkraft vor, womit sich ein Wassertheilchen m von der Umdrehungsaxe A entfernen würde, wenn es daran nicht durch die Röhrenwand gehindert würde. Zerlegt man die Kraft mn in zwei Componenten mo und on, wovon erstere auf der Röhrenwand senkrecht, letztere zu derselben parallel wirkt, so wird die senkrechte mo durch den Widerstand dieser Wand aufgehoben, die Kraft on aber treibt das Wassertheilchen in der Röhre empor. Da während dieses Emporsteigens das Wassertheilchen nicht aufhört, sich um die Axe A im Kreise zu bewegen, so dauert auch die beschriebene Wirkung der Fliehkraft fort, ja diese nimmt sogar zu, weil das Wassertheilchen in dem Maße, als es steigt, sich in immer größeren Kreisen um A herum bewegt, so daß dasselbe mit beschleunigter Bewegung der Rinne R zueilt.

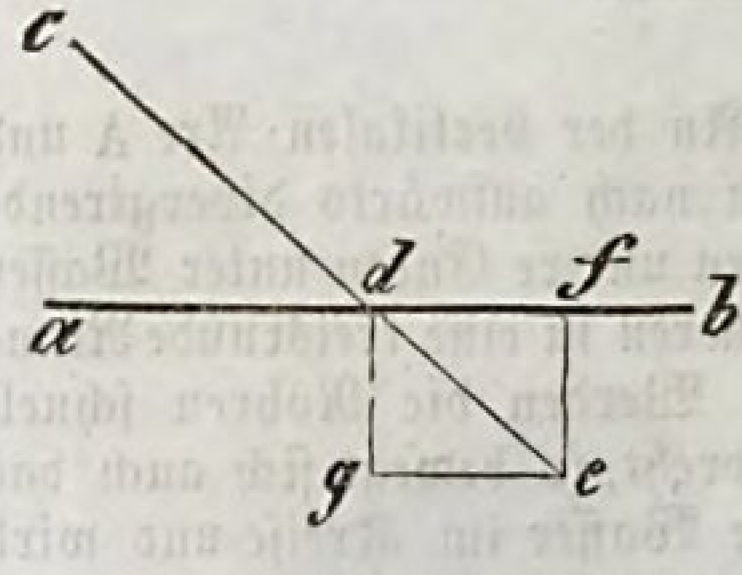
Fig. 131.



97. Vom Stoß fester Körper. Wenn ein in Bewegung befindlicher fester Körper auf einen anderen ruhenden oder bewegten festen Körper trifft (stößt), so wirkt ersterer (der stoßende) auf letzteren (den gestoßenen) ein und dieser auf jenen zurück; sie erfahren dadurch beide eine Aenderung ihres Zustandes und diese hängt ab von dem Umstande, ob vor dem Stoße beide in Bewegung waren oder der gestoßene ruhte, im letzteren Falle, ob er beweglich oder unbeweglich ist, ferner von der Größe der Bewegung (Seite 63) beider Körper, von der Richtung ihres Zusammentreffens, von ihrer Gestalt und endlich von dem Grade ihrer Elasticität. Für uns ist zum Behufe besserer Einsicht in die Erscheinungen des Schalles aus der in die Mechanik gehörigen Lehre vom Stoß nur der Fall besonders wichtig, wo die sich stoßenden Massen beide gleichförmig dichte, vollkommen elastische (**23**) Kugeln sind, oder wo der stoßende Körper eine solche Kugel, die gestoßene Masse hingegen eine vollkommene elastische Wand ist. Die Ermittlung der Bewegungsgesetze für diesen Fall setzt aber die Kenntniß der Wirkung des Stoßes eben solcher, aber als vollkommen unelastisch betrachteter Massen voraus, weswegen wir hier in Kürze beide Fälle behandeln wollen. Der Stoß heißt immer gerade, wenn die Richtung der Bewegung des Mittelpunktes der Kugeln (oder der Kugel, wenn nur einer der sich stoßenden Körper eine Kugel und der andere z. B. eine Wand ist) durch den Punkt geht, in welchem sich die aneinander stoßenden Körper berühren; sonst heißt er schief.

Stoß einer unelastischen Kugel gegen eine unelastische und unbewegliche ebene Wand. Bewegt sich eine unelastische Kugel senkrecht gegen eine unelastische und unbewegliche Wand, so wird durch den Widerstand der letzteren die Bewegung der Kugel ganz aufgehoben; Wand und Kugel werden dabei in dem Maße, als ihre Theilchen verschiebbar sind (nachgeben), einander zusammendrücken und die Kugel wird nach dem Stoße ruhen (wenn sie nicht etwa dann der Schwere folgen kann, wie dies bei einer senkrecht gegen

Fig. 132.

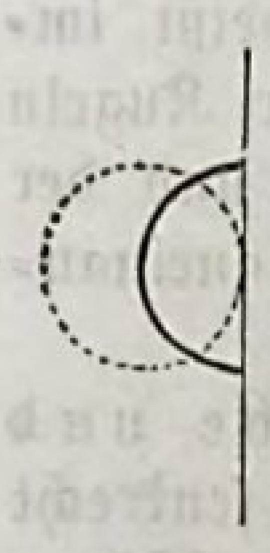


eine vertikale Wand geschossenen Bleikugel der Fall ist, die nach der Zusammendrückung zur Wand parallel hinabfällt). Geschieht der Stoß nach, gegen eine z. B. horizontale Wand ab (Fig. 132) schiefer Richtung cd, so läßt sich die Geschwindigkeit der Kugel, welche der Größe nach durch die Linie de vorgestellt sein soll, in zwei Componenten df und dg zerlegen, wovon die eine dg zur Wand senkrecht ist und somit aufgehoben wird, die andere df hingegen eine Bewegung der Kugel längst der Wand bewirkt . . . . (61)

Stoß zweier in einer und derselben Richtung mit ungleicher Geschwindigkeit sich bewegender Kugeln. Es seien M, C die Masse und Geschwindigkeit der einen, m, c der andern Kugel und es sei $C > c$, so sind die Größen der Bewegung (S. 63) beider Kugeln vor dem Stoße MC und mc. Wird die eine Kugel m von der andern M eingeholt und gestoßen, so kann die letztere auf die erstere nur so lange einwirken, bis beide mit gleicher Geschwindigkeit v hintereinander fortgehen. Es hat dann die nachfolgende Kugel M die Geschwindigkeit $C-v$ und die Größe der Bewegung $M(C-v)$ verloren; die Kugel m hingegen hat die Geschwindigkeit $v-c$ und die Größe der Bewegung $m(v-c)$ gewonnen. Da die eine Kugel nur so viel gewinnen kann, als die andere verliert, so ist $M(C-v) = m(v-c)$, also $v = \frac{MC + mc}{M + m}$ . . . 1) die Größe der Geschwindigkeit, mit welcher beide Kugeln nach dem Stoße in derselben Richtung weiter gehen. Für den Fall, wo die eine Kugel m vor dem Stoße ruht, aber beweglich ist, hat man $c = o$ zu setzen; erhält somit $v = \frac{MC}{M + m}$ . . . 2) für die Geschwindigkeit beider Kugeln nach dem Stoße. Denkt man sich, die Geschwindigkeit c der Kugel m gehe in die entgegengesetzte über, so daß sich jetzt beide Kugeln in gerader Richtung gegen einander bewegen, so hat man, anstatt c, $-c$ zu setzen und erhält dann $v = \frac{MC - mc}{M + m}$ . . . 3) als Geschwindigkeit beider Kugeln nach dem Stoße . . . . (62)

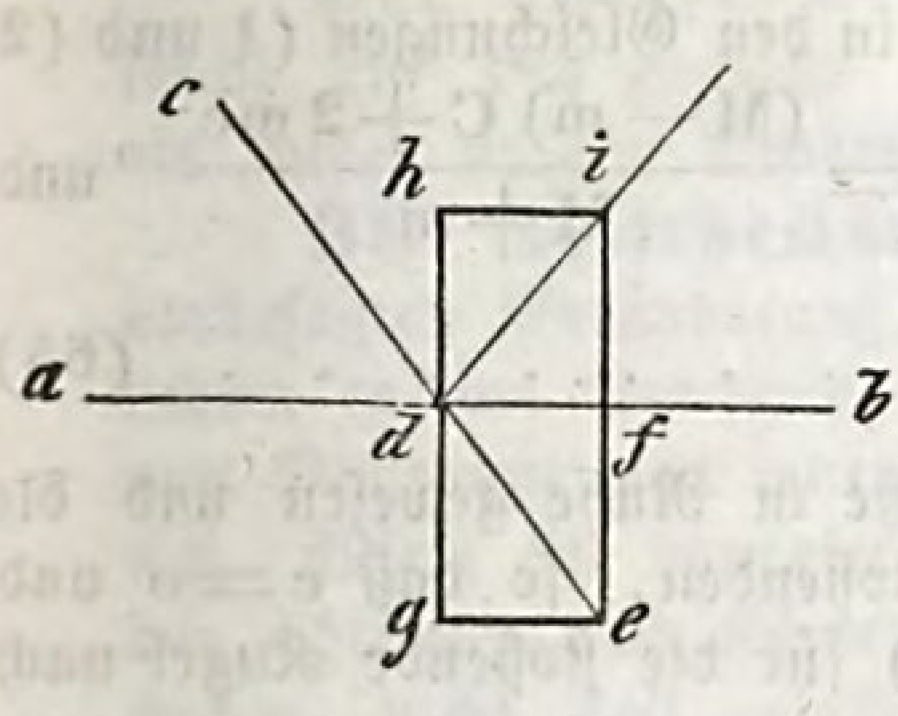
Stoß einer elastischen Kugel gegen eine harte unbewegliche Ebene. Erfolgt der Stoß nach senkrechter Richtung mit der Geschwindigkeit C, so geschieht anfangs ganz dasselbe, wie wenn die Kugel unelastisch wäre, sie wird nämlich in Folge des Widerstandes der unbeweglichen Ebene so lange zusammengedrückt (Fig. 133), bis ihre ganze Geschwindigkeit verloren gegangen ist. Nun tritt aber die Wirkung der Elasticität d. i. derjenigen Kraft ein, womit die Theilchen der zusammengedrückten Kugel wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren und die Kugel ihre vorige, in der Fig. 133 punktirt angedeutete Gestalt annimmt. Damit dies möglich ist, müssen alle Theilchen der Kugel von der Wand (die als unbeweglich nicht nachgeben kann) zurückgetrieben werden und zwar mit einer Kraft, die eben so groß ist als jene, wodurch die Elasticität der Kugel überwunden, diese somit zusammengedrückt worden. Da dies die Kraft ist, welche der Kugel bei der Bewegung gegen die Wand die Geschwindigkeit C ertheilte, so muß die Kraft (die Elasticität), welche die Kugel von der Wand zurücktreibt, die gleiche Wirkung haben; die Kugel muß daher mit derselben Geschwindigkeit und in der nämlichen senkrechten Richtung von der Wand zurückprallen, mit der sie sich gegen die Wand bewegte . . . . (63)

Fig. 133.



Ist die Richtung cd (Fig. 134) der an die ebene Wand ab stoßenden elastischen Kugel (ihres Mittelpunktes) eine schiefe und man zerlegt (wie dies vorn beim

Fig. 134.



schiefen Stoß einer unelastischen Kugel gegen eine Wand geschehen) die Geschwindigkeit de der Kugel in die Componenten df und dg = fe, so kann nur der Theil der bewegenden Kraft, welcher der Componente dg zu Grunde liegt, eine Zusammendrückung der Kugel bewirken, und die Geschwindigkeit, mit welcher die Kugel in Folge der Elasticität von der Wand weggetrieben wird, muß daher der Componente dg entgegengesetzt und gleich sein, so daß sie durch die in die Verlängerung von dg fallende Linie dh = dg . . . 4) vorgestellt wird. Da nun die Kugel (ihr Mittelpunkt) sich nach h und in Folge der unverändert gebliebenen Componente df gleichzeitig auch nach f mit den Geschwindigkeiten dh und df bewegen soll, so muß sie die Richtung der Diagonale des Parallelogramms dfhi und mit einer Geschwindigkeit von der Größe di nehmen. Wegen Congruenz der Dreiecke dhi und dge (denn die Winkel bei h und g sind rechte, nach 4) ist dh = dg und ferner ist hi = df und df = ge als Gegenseiten im Parallelogramme, mithin auch hi = ge) hat man di = de . . . 5) und $\angle$hdi = $\angle$gde; es ist aber $\angle$gde = $\angle$cdh (Scheitelwinkel), daher $\angle$hdi = $\angle$cdh . . . 6).

Indem die Kugel in Folge ihrer Elasticität nach dem Stoße von der Wand wegbewegt wird, sagt man, sie werde zurückgeworfen oder reflektirt, und nennt die Winkel, welche die Richtungen der Bewegung gegen die Wand und von derselben hinweg mit der Lothrechten bilden, die in dem, beiden Richtungen gemeinschaftlichen Punkte der gestoßenen Wand errichtet wird, Einfallswinkel und Reflexionswinkel. Es werden somit [zu Folge (63), 5) und 6)] elastische Kugeln nach dem Stoße an eine unbewegliche und unelastische ebene Wand so zurückgeworfen, daß der Reflexions- dem Einfallswinkel und die Geschwindigkeit jener vor dem Stoße gleich ist . . . . (64)

Dieser Satz erleidet keine Abänderung, wenn die unbewegliche Wand auch vollkommen elastisch ist: denn in diesem Falle wird der Theil der Geschwindigkeit, welcher während der Zusammendrückung der Kugel und der Wand verloren geht, nachher durch die Elasticität beider in entgegengesetzter Richtung wieder gewonnen; besitzen aber die Kugel und die Wand die bei ihnen vorausgesetzte Elasticität nicht im vollkommenen Grade (**23**), so hat die gegen die Wand senkrechte und durch den Stoß umgekehrte Geschwindigkeit nicht die ursprüngliche, sondern eine geringere Größe, und der Reflexionswinkel fällt daher größer aus als der Einfallswinkel.

Gerader Stoß zweier vollkommen elastischer, gleichförmig dichter Kugeln aneinander. Haben diese Kugeln die Massen **M**, m, ferner vor dem Stoße die Geschwindigkeiten **C**, c, so daß **C** > c ist, und treffen, sich nach einerlei Richtung bewegend, so zusammen, daß der Stoß ein gerader ist, so erlangen sie während des Zusammendrückens eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit v, welche wie für unelastische Kugeln (nämlich nach 1) S. 152) bestimmt wird; es verliert also die Kugel **M**, welche die andere m einholt, die Geschwindigkeit **C** — v und die Kugel m gewinnt v — c. Sobald die Zusammendrückung zu Ende ist, treibt die Elasticität die beiden Kugeln mit derselben Kraft, wodurch die Zusammendrückung erfolgte, wieder auseinander. Dem zu Folge bekommt die Kugel **M** die verlorene Geschwindigkeit **C** — v nach entgegengesetzter Richtung, d. h. sie verliert noch einmal **C** — v an Geschwindigkeit, so daß ihr ganzer Geschwindigkeitsverlust 2 (**C** — v) beträgt und ihr nach dem Stoße eine

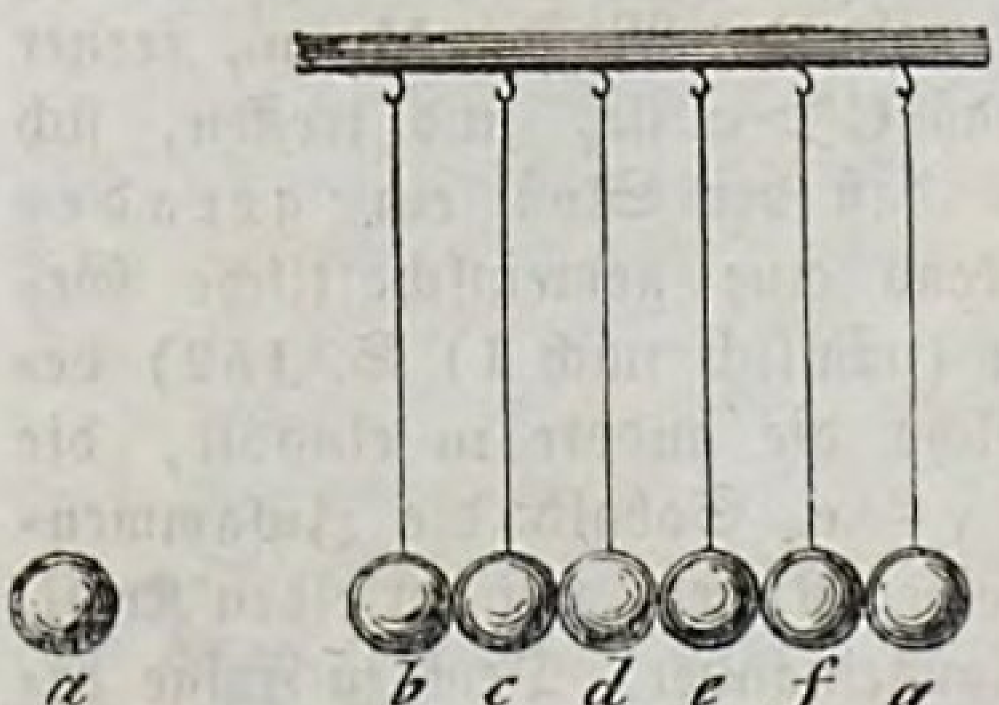
Geschwindigkeit $C_1 = C - 2(C - v) = 2v - C$ . . . (1 übrig bleibt. Die Kugel m hingegen gewinnt durch die Elasticität noch einmal die Geschwindigkeit $v - c$, also im Ganzen $2(v - c)$, so daß nach dem Stoße ihre Geschwindigkeit $c_1 = c + 2(v - c) = 2v - c$...(2 ist. Setzt man in den Gleichungen (1 und (2 für v aus 1) S. 152 den Werth, so erhält man $C_1 = \frac{(M - m) C + 2 mc}{M + m}$ und

$$c_1 = \frac{(m - M\ c + 2 MC}{M + m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (65)$$

Gesetzt, die gestoßene Kugel sei vor dem Stoße in Ruhe gewesen und die Masse dieser Kugel sei kleiner als die Masse der stoßenden, so daß $c = o$ und $m < M$ ist; so erhält man nach den Formeln (65) für die stoßende Kugel nach dem Stoße die Geschwindigkeit $C_1 = \frac{M_1 C}{M + m}$, (wenn $M_1 = M - m$ ist), und für die gestoßene Kugel ist nach dem Stoße die Geschwindigkeit $c_1 = \frac{2 MC}{M + m}$; es bewegen sich also nach dem Stoße beide Kugeln mit ungleichen Geschwindigkeiten nach einerlei Richtung und zwar nach jener weiter, welche die stoßende Kugel vor dem Stoße hatte . . . . (66)
Ist hingegen unter Voraussetzung, die gestoßene Kugel sei vor dem Stoße in Ruhe gewesen, die Masse der stoßenden Kugel kleiner als jene der gestoßenen, mithin $c = o$ und $M < m$, so werden nach den Formeln (65) für die Geschwindigkeiten beider Kugeln nach dem Stoße die Werthe erhalten $C_1 = \frac{-M_1 C}{M + m}$ und $c_1 = \frac{2 MC}{M + m}$; es bewegen sich daher beide Kugeln nach dem Stoße wieder mit ungleichen Geschwindigkeiten, aber nach entgegengesetzten Richtungen und zwar die gestoßene nach der Richtung, welche die stoßende Kugel vor erfolgtem Stoße hatte . . . . (67)

Für den Fall, daß die einander stoßenden elastischen Kugeln gleiche Massen haben, also $M = m$ ist, gehen die zwei Gleichungen (65) in $C_1 = c$ und $c_1 = C$ über, d. h. vollkommen elastische, nach einerlei Richtung sich bewegende Kugeln von gleichen Massen vertauschen während des Stoßes aneinander ihre Geschwindigkeiten . . . . (68); demnach wird, wenn eine dieser Kugeln ruht, dieselbe nach dem Stoße mit der Geschwindigkeit der stoßenden sich fortbewegen, diese hingegen ruhen. Stößt eine elastische (z. B. elfenbeinerne) Kugel a (Fig. 135) gerade gegen die erste b mehrerer anderer gleich großer und ruhender elastischer Kugeln b, c, d, e, f, g u.s.w., die z. B. so an Fäden hängen, daß sie untereinander eben nur in Berührung stehen und ihre Mittelpunkte alle in einer geraden Linie liegen, so muß die letzte Kugel g mit der Geschwindigkeit der stoßenden a sich von den übrigen wegbewegen und die stoßende a sammt allen anderen Kugeln werden, sich gegenseitig berührend, in Ruhe bleiben: denn nach (68) wird die Kugel a ihre Geschwindigkeit an die Kugel b abgeben und dann ruhen, b wird dasselbe gegen c thun, und so wird jede Kugel die von der vorhergehenden empfangene Geschwindigkeit an die nächst folgende abgeben und selbst nachher in Ruhe bleiben, bis endlich die letzte g mit

Fig. 135.



der erhaltenen Geschwindigkeit, die sie keiner andern Kugel mehr mittheilen kann, fortgeht.

Der schiefe Stoß zweier elastischer Kugeln läßt sich immer leicht auf den geraden zurückführen; eine nähere Betrachtung desselben kann als außer unserm Bedürfniß liegend übergangen werden.

98. Mittheilung einer Bewegung erfordert Zeit. Zu der vorbesagten Veränderung, die der stoßende Körper in dem gestoßenen erzeugt, indem er ihm Bewegung mitzutheilen sucht, so wie zu jeder andern Mittheilung von Bewegung von einem Körper an einen andern, ist eine gewisse Zeit erforderlich. Wirkt ein bewegter Körper (**A**) auf einen andern (**B**) so rasch ein, daß den Theilchen des Körpers (**B**), auf welche die unmittelbare Einwirkung stattfindet, nicht Zeit gelassen wird, die erlangte Geschwindigkeit auch unter die ganze übrige Masse von (**B**) zu vertheilen, so haben die unmittelbar getroffenen Theile von (**B**) die ganze Gewalt der Einwirkung des Stoßes von (**A**) auszuhalten und müssen sich, wenn ihr Zusammenhang mit den übrigen Theilen nicht groß genug ist, um dieser Gewalt zu widerstehen, von letzteren trennen, ohne daß diese und somit der ganze Körper (**B**) in Bewegung gerathen.

Hierin findet eine große Zahl interessanter und wichtiger Erscheinungen ihre Erklärung. Wir können davon nur die folgenden wenigen besprechen. Ein Bret, welches so aufgestellt ist, daß man es durch einen schwachen Stoß oder Druck mit dem Finger leicht umwerfen kann, bleibt unbeweglich stehen, wird aber durchlöchert, wenn es von der Kugel einer scharfgeladenen Flinte oder Pistole getroffen wird. — Mit einer solchen Kugel kann man auch ein Loch durch eine Fensterscheibe schießen, ohne daß diese weiter beschädigt wird. — Ein mit seinen Enden auf Haaren oder auf den Zeigefingern der zwei Hände ruhender, etwa zwei Schuh langer und ziemlich dicker Holzstab wird durch einen sehr rasch geführten kräftigen Schlag (mittelst eines Stockes oder dgl.) zerschlagen, ohne daß die Haare zerreißen oder man in den Fingern eine andere Empfindung hat, als der Holzstab durch sein Gewicht erzeugt und schon vor dem Schlag erzeugte. (Die Theile des Bretes und der Glastafel, die von der scharfen Kugel, und die Theile des Holzstabes, die vom Stocke getroffen werden, erfahren eher eine Trennung von der übrigen Masse, als sie im Stande sind, dieser die erlangte Geschwindigkeit mitzutheilen.) — Man kann mittelst eines schwachen Fadens eine ziemlich große Last heben, wenn man an demselben langsam zieht; bei raschem Anziehen hingegen zerreißt er, weil hier die Theile eines einzelnen Querschnittes desselben die ganze Gewalt des Zuges erfahren, während im vorigen Falle diese sich auf den ganzen Faden zu vertheilen Zeit hat. Wenn man eine Glasthräne (**30**) in ein mit Wasser gefülltes Trinkglas taucht und die Spitze der Thräne außer dem Wasser abbricht, so zerspringt das Trinkglas in unzählige Stücke und zwar durch die Wirkung der Flüssigkeit, deren Molekel nicht Zeit hatten, sich von unten nach oben zu verdrängen. Nach Jessop's Methode werden Felsen gesprengt, wenn man in ein entsprechendes Bohrloch die gehörige Quantität Schießpulver füllt, von diesem bis über das Bohrloch hinaus einen inwendig mit Pulver angefüllten Strohhalm (oder eine andere Zündröhre) gehen läßt, den Raum um den Strohhalm herum mit trockenem, lose aufgestreutem Sande ausfüllt und hernach auf den Strohhalm ein Stück brennenden Schwammes aufsteckt. Beim Hinabbrennen des Pulvers durch den Strohhalm und Entzünden des Schusses wird nicht der lose aufliegende Sand aus dem Bohrloche geschleudert, wie man glauben sollte, sondern der Fels zersprengt, indem eine längere Zeit erforderlich ist, um die Gewalt des Pulvergases den losen Theilen des Sandes als der zusammenhängenden Felsmasse mitzutheilen. — Graveure, Glasschleifer u. s. w. schneiden mittelst einer sehr schnell umlaufenden Scheibe von weichem Eisen den

härtesten Stahl, mittelst einer so bewegten Scheibe von Kupfer das viel härtere Glas, Quarz, Achat u. s. w., weil, ehe der harte Körper, z. B. das Glas, von dem weichen, z. B. dem Kupfer, ein Theilchen losreißen oder zur Seite schieben kann, schon wieder ein anderes Theilchen (der Kupferscheibe) an dessen Stelle kömmt, daher auf ein und dasselbe Glastheilchen eine Reihe nach einander folgender Kupfertheilchen einwirken, die zusammen auf dasselbe eine Kraft üben, welche hinreichend ist, es von der übrigen Masse zu trennen, während die viel geringere Kraft, die das Glastheilchen auf ein Kupfertheilchen in der unendlich kurzen Zeit der Berührung mit demselben üben kann, das Losreißen dieses letzteren nicht zu bewirken vermag.

VI. Abschnitt.

Gleichgewicht und Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten. (Hydrostatik und Hydrodynamik.)

99. Wir haben in **18** als charakteristische Eigenschaften tropfbarer Flüssigkeiten aufgestellt: daß sie in kleinen Mengen Tropfen bilden, daß sie sich durch die größten uns zu Gebote stehenden mechanischen Kräfte nur äußerst wenig zusammendrücken lassen, und daß ihre Theilchen außerordenlich leicht verschiebbar sind. Diese Eigenschaften und unzählige andere Erscheinungen, welche tropfbare Körper im Gleichgewichts- und Bewegungszustande darbieten, finden ihre Erklärung in der Wirkung der Molekularkräfte (**8**) und der Schwere. Die Gesetze dieser letzteren Kraft haben wir bereits im **IV.** Abschnitte hinlänglich kennen gelernt. Was die Molekularkräfte anbelangt, so müssen die Wirkungen, welche durch die zwischen den Molekeln eines und desselben tropfbaren Körpers thätigen Kräfte bedingt sind, von jenen gesondert werden, die aus der gegenseitigen Aktion der Molekel einer tropfbaren Flüssigkeit und eines andern Körpers hervorgehen.

100. Wesen und Gesetze der Molekularkräfte eines tropfbaren Körpers. Ueber diese Kräfte nöthigen uns die Erscheinungen, als deren Ursache sie angesehen werden, und aus welchen allein sich ihr Wesen und ihre Gesetze folgern und erkennen lassen, zu folgenden Annahmen: 1) Ihre Wirkung besteht entweder in einer Anziehung oder in einer Abstoßung und erstreckt sich, in noch merklichem Grade, nur auf für uns nicht mehr wahrnehmbar kleine Entferungen; 2) sie hängt der Größe nach bei einer und derselben Flüssigkeit nur von dem gegenseitigen Abstande der auf einander einwirkenden Molekel ab; 3) äußert sich daher rings um jedes Molekel herum in gleichen Distanzen gleich stark und, in noch merklichem Grade, bis zu gleichen, für uns nicht meßbaren Entfernungen, also bis an die Gränze eines kugelförmigen Raumes, dessen Halbmesser eine bestimmte, aber unmeßbar kleine Größe hat, und in dessen Mittelpunkt sich das Molekel befindet, von dem die Wirkung ausgeht. 4) Man nennt diesen Raum deswegen die Wirkungssphäre des Molekels und den Halbmesser desselben den Halbmesser (Radius) der Wirkungssphäre. Obgleich dieser Halbmesser in allen Fällen wegen seiner Kleinheit sich unserer Wahrnehmung gänzlich entzieht, ist doch der Rauminhalt der zugehörigen Wirkungssphäre immer als so groß zu betrachten, daß eine bedeutende Zahl der unendlich kleinen Molekel darin Platz hat. 5) Bei einer und derselben Flüssigkeit haben alle Molekel gleich große Wirkungssphären und sind überhaupt in Nichts von einander verschieden. 6) Die zwischen zwei Molekeln wirksam auftretende Kraft ist die Resultirende der zwei in allen Körpern vorausgesetzten, einander entgegenwirken-

den Grundkräfte, der Anziehungs- und der Abstoßungskraft (**8**), und es hängt die Beschaffenheit dieser Resultirenden davon ab, welche der zwei Componenten die andere überwiegt. 7) Zwischen zwei einander sehr nahen Molekeln tropfbarer Körper hat die Abstoßung und zwischen weiter entfernten die Anziehungskraft das Uebergewicht. Man kann sich daher die Wirkungssphäre jedes Molekels aus zwei concentrischen Theilen bestehend denken, so daß in dem inneren Theile, in Bezug auf das Molekel im Mittelpunkt der Sphäre, blos Abstoßung, in dem äußeren Theile blos Anziehung herrscht; 8) die Abstoßung wächst bei Verminderung des Abstandes zweier nächsten Molekel in einem äußerst raschen Verhältnisse und übersteigt alle Kräfte, die wir durch mechanische Mittel hervorzurufen im Stande sind . . . . (69)

101. Erscheinungen an tropfbaren Körpern blos in Folge ihrer Molekularkräfte. Man kann in der That bei einem tropfbaren Körper die Wirkungen seiner Molekularkräfte von jenen der Schwere abgesondert betrachten; denn es läßt sich nach dem in **18** aufgestellten Begriff eines solchen Körpers, derselbe sehr gut schwerlos denken. Sei m (Fig. 136) ein im Innern einer tropfbaren Masse **ABCD** so gelegenes Molekel, daß selbst die kleinste Entfernung ma desselben von der (durch Gefäßwände, Luft u. s. w., gebildeten) Begrenzung dieser Masse noch meßbar, also nach 3) größer als der Halbmesser seiner Wirkungssphäre ist; so heben sich die Wirkungen aller Flüssigkeitstheilchen (und nur von diesen ist hier die Rede; die etwaige Wirkung zwischen der Flüssigkeit und den Wänden des sie enthaltenden Gefäßes wird vorläufig ganz außer Acht gelassen) auf das Theilchen m ganz auf und dieses erfährt keine Anregung zur Bewegung; denn stellt mc den Halbmesser der Wirkungssphäre von m und ce diese Sphäre selbst im Durchschnitte vor, und man denkt sich von irgend einem Molekel n innerhalb dieser Sphäre durch m eine gerade Linie gezogen, so übt ein anderes Molekel o, welches in der Richtung dieser Linie von m ebensoweit entfernt liegt, wie n, [nach 3)] auf m eine gleiche Wirkung wie n, nur im entgegengesetzten Sinne; die Wirkung des Molekels n auf m wird daher aufgehoben, und das Theilchen m wird, da sich genau dasselbe wie für n auch für jedes andere innerhalb der Wirkungssphäre ce befindliche Theilchen zeigen läßt, keine oder vielmehr nach allen Seiten hin eine ganz gleiche, daher erfolglos bleibende Anregung zur Bewegung erfahren . . . (I). Hieraus und aus den obigen Punkten 2), 3) und 5) folgt, daß alle Theilchen einer tropfbaren Flüssigkeit, welche von der Begrenzungsfläche dieser letzteren nicht weniger weit entfernt liegen, als der Halbmesser ihrer Wirkungssphäre beträgt, außerordentlich leicht verschiebbar sein und nach allen Richtungen eine gleiche Cohäsionskraft äußern müssen . . . (II). Ist hingegen für ein Molekel r (Fig. 137) die geringste Entfernung ru von der Begrenzung der Flüssigkeitsmasse kleiner als der Halbmesser rv der ganzen Wirkungssphäre, aber doch größer als der Halbmesser rs desjenigen concentrischen Theils dieser Sphäre, innerhalb welches Abstoßung herrscht [nach 7)], so wirkt auf das Molekel r eine Kraft, die es von der Begrenzungsfläche weg und gegen das Innere der Flüssigkeit zieht, und

Fig. 136.

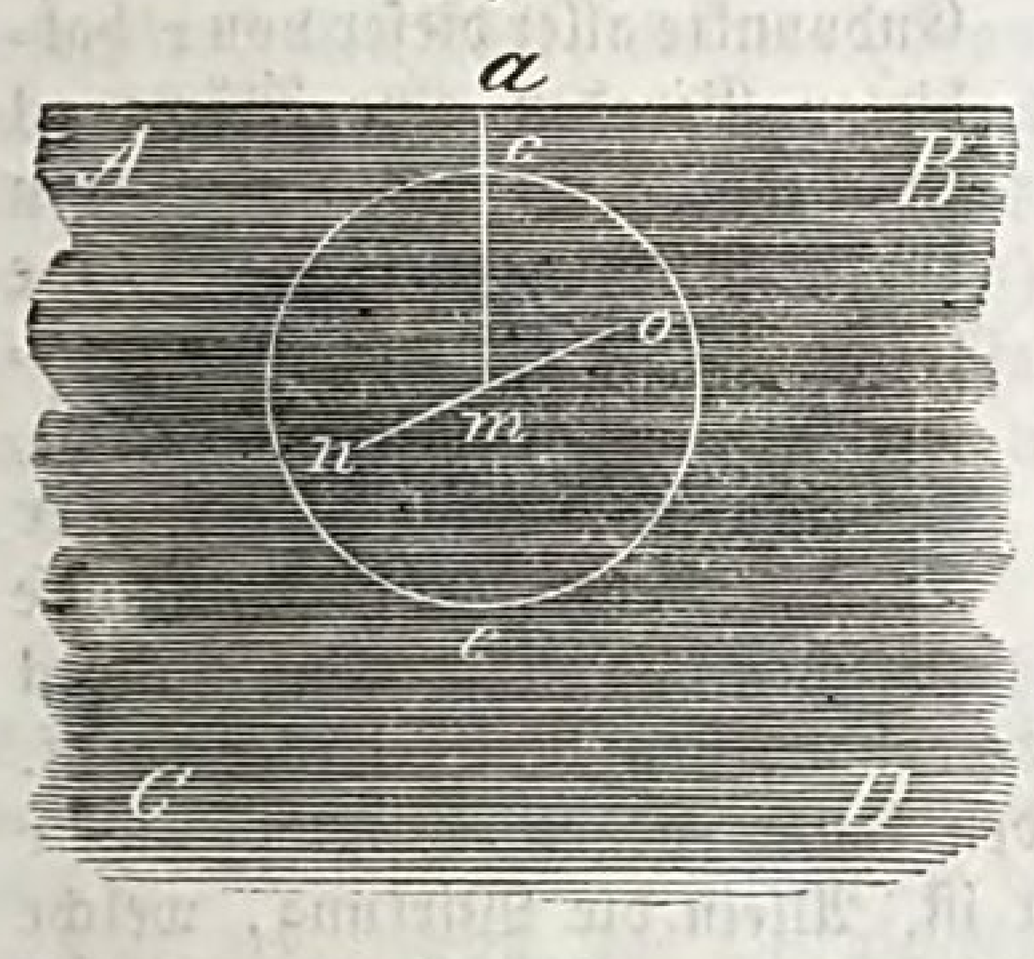
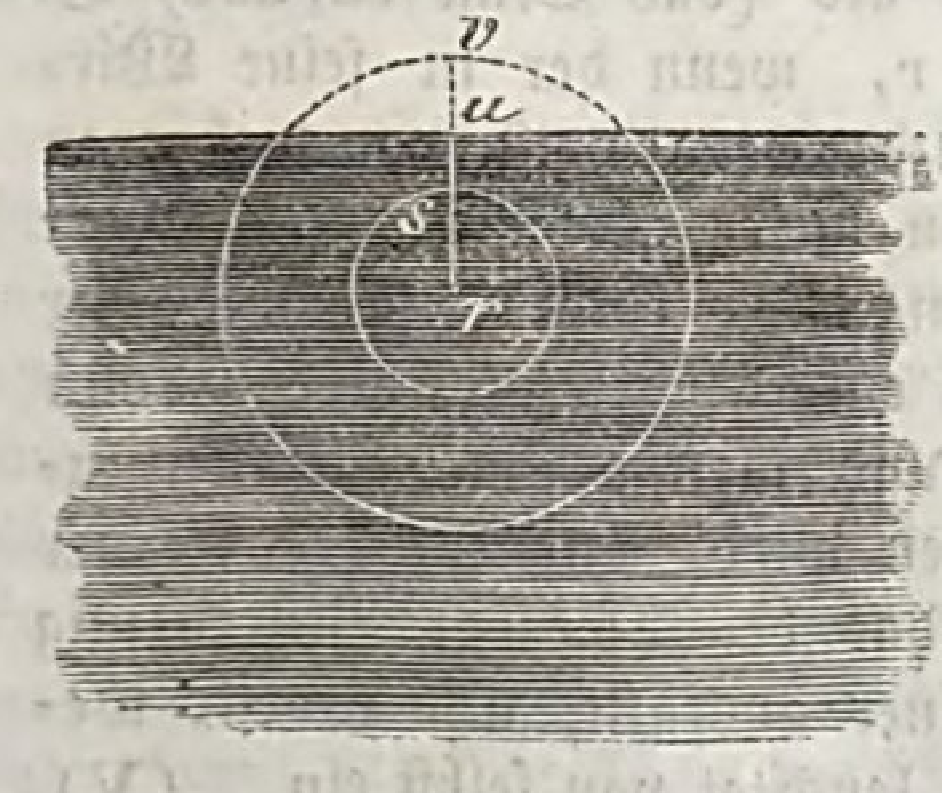


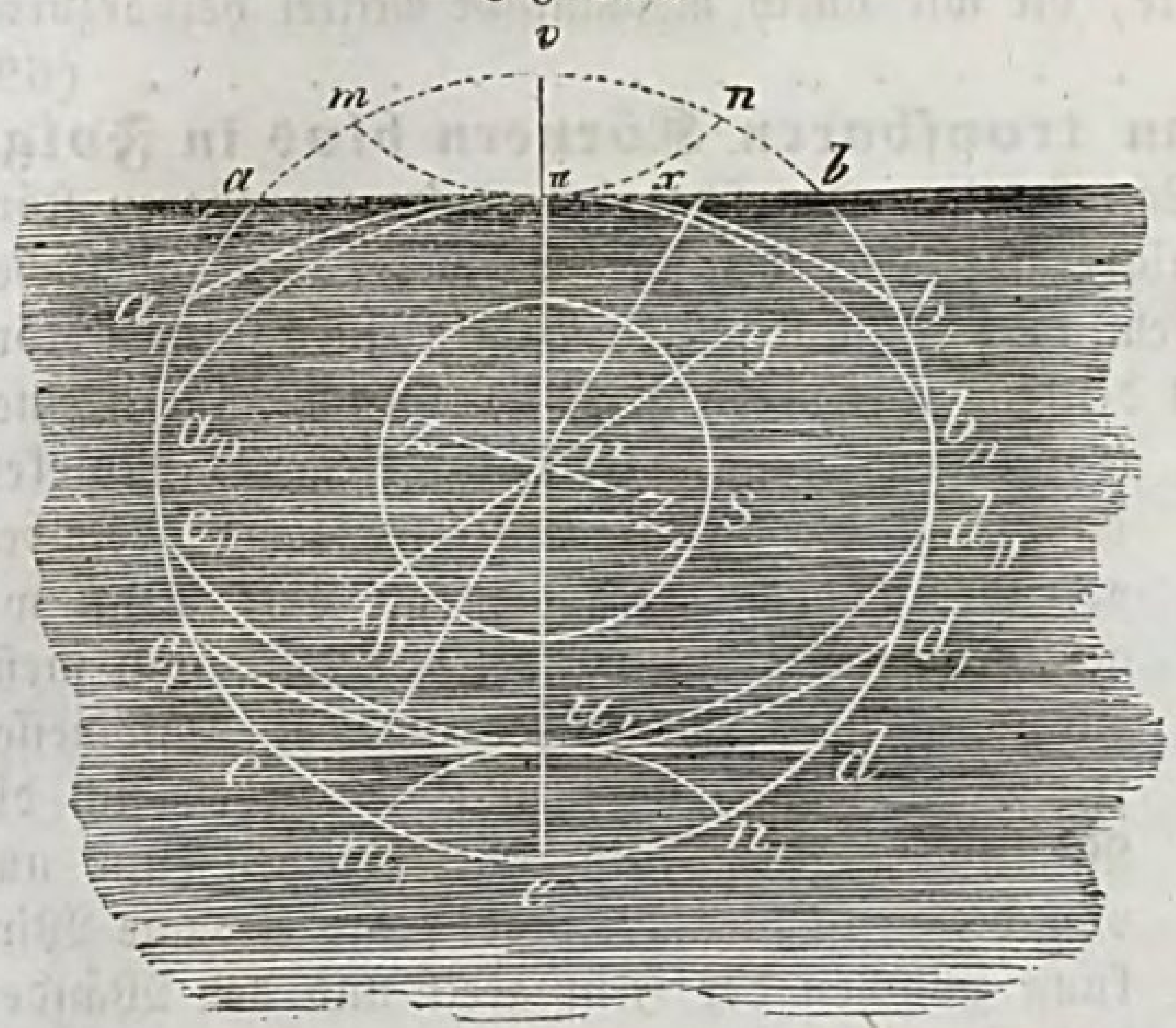
Fig. 137.



zwar ist unter übrigens gleichen Umständen (d. i. bei unverändert bleibendem geringsten Abstande des Molekels r von der Begrenzung der Flüssigkeit) diese Kraft, wenn der dem Molekel r zunächst liegende Theil der Begrenzungsfläche eben ist, größer, als wenn er nach innen gekrümmt (concav), hingegen kleiner, als wenn er nach außen gekrümmt (convex) ist. Uebrigens nimmt diese Kraft mit der Convexität der Begrenzung zu und mit der Größe ihrer Concavität ab. Alles dieses erhellt aus folgender Betrachtung . . . . (70)

Sei in (Fig. 138) r das betreffende Molekel, vacedbv seine gesammte Wirkungssphäre, S die Sphäre, worin Abstoßung herrscht, und derjenige Theil der Flüssigkeitsgrenze, der in die Anziehungssphäre hineinfällt, sei eben wie aub. Zieht man von jedem Punkte, z. B. x, dieses Begrenzungstheiles aub durch r eine gerade Linie, macht diese so lang, daß sie von r halbirt wird, und legt durch die untern Endpunkte aller dieser von r halbirten Geraden eine Fläche cd (wir wollen in der Folge, um kürzer sprechen zu können, eine solche Fläche die jenseits r symmetrisch liegende Fläche heißen), so heben sich die Wirkungen aller Theilchen der Flüssigkeitsmasse zwischen den Flächen ab und cd

Fig. 138.



auf das Molekel r auf, weil zu jedem in dieser Masse vorhandenen Molekel y, z u. s. f. ein anderes Molekel y_1, z_1 u. s. angegeben werden kann, dessen Wirkung auf r jener von y, z, u. s. f. gleich und entgegengesetzt ist. Allein die Wirkung, welche die innerhalb des Stückes cu_1dec der Wirkungssphäre von r befindlichen Molekel auf dieses Molekel r üben, kann nicht aufgehoben werden, weil in dem über die Flüssigkeitsgrenze hinausfallenden Stücke avbua der Wirkungssphäre keine den Molekeln in cu_1dec entgegenstehende Molekel existiren; es wird daher das Theilchen r mit der von allen Molekeln in dem Stücke cu_1dec ausgehenden Kraft gegen dieses hin also gegen das Innere der Flüssigkeit, d. i. einwärts gezogen (III). Wäre der in die Wirkungssphäre von r hineinfallende Theil der Flüssigkeitsoberfläche unter sonst gleichen Umständen d. h. bei gleichem Abstande des Molekels r von der Flüssigkeitsgrenze convex wie a_1ub_1 oder $a_{11}ub_{11}$, wo dann die jenseits r zu a_1ub_1 oder $a_{11}ub_{11}$ symmetrisch liegenden Flächen durch $c_1u_1d_1$ oder $c_{11}u_1d_{11}$ vorgestellt werden, so ist das Flüssigkeitsstück, in welchem die Wirkung der Theilchen auf r nicht aufgehoben wird, im ersteren Falle $c_1u_1d_1ec_1$ und im zweiten $c_{11}u_1d_{11}ec_{11}$, mithin immer größer als (das Stück cu_1dec) bei ebener Begränzung; es wird daher das Molekel r, wenn der in seine Wirkungssphäre hineinfallende Theil der Flüssigkeitsgrenze convex ist, von mehreren Molekeln, mithin stärker einwärts gezogen, als wenn dieser eben ist, und zwar von desto mehr Molekeln, also desto stärker, je converer er ist... (IV). Ist er hingegen concav wie mun, so hat dies gerade die entgegengesetzte Folge, denn dann stellt $m_1u_1n_1$ die symmetrisch liegende Fläche und $m_1u_1n_1em_1$ das Flüssigkeitsstück vor, dessen Wirkung auf r nicht aufgehoben wird, und welches kleiner ist, daher auch weniger kräftig einwärts zieht, als das bei ebener Begrenzung wirksame Stück cu_1dec. Daß $m_1u_1n_1em_1$ desto kleiner ausfällt, also r desto weniger einwärts gezogen wird, je concaver mun ist, leuchtet von selbst ein...(V).

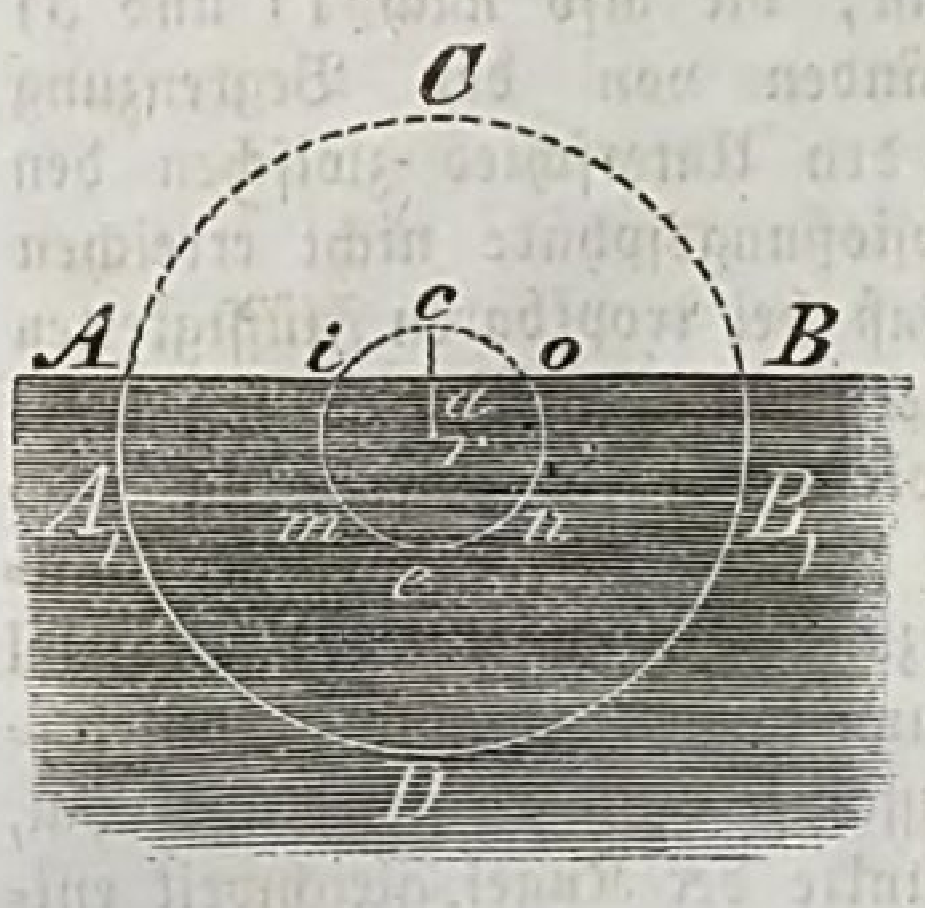
Aus den Sätzen (II) bis (V), welche genau so wie für das Molekel r auch für alle Theilchen eines tropfbaren Körpers gelten, deren Entfernung von seiner äußeren Begrenzung geringer als der Halbmesser ihrer gesammten Wirkungssphäre, aber größer als der Halbmesser ihrer Abstoßungssphäre ist, die also nach 1) und 3) auf Seite 156 in verschwindend kleinen Abständen von der Begrenzung und in einer Schichte liegen müssen, deren Dicke den Unterschied zwischen den Halbmessern der gesammten Wirkungs- und der Abstoßungssphäre nicht erreichen kann, mithin auch verschwindend klein ist, folgt, daß bei tropfbaren Flüssigkeiten eine in unendlich kleiner Entfernung von ihrer Oberfläche oder Begrenzung gelegene Schichte von unmeßbarer Dicke durch die Molekularkräfte einen Zug nach einwärts erfährt. Da ein solcher Zug gegen das Innere einer tropfbar flüssigen Masse an allen Punkten ihrer ganzen Begrenzung stattfindet, die Molekel bei ihrer sehr leichten Verschiebbarkeit aber nur dann in den Zustand des Gleichgewichtes kommen können, wenn die Flüssigkeitsmasse die Gestalt einer Kugel hat, weil da die Zugkräfte, welche auf die vom Mittelpunkte der Kugel gleichweit entfernten Molekel ausgeübt werden, sich wechselweise als gleich und entgegengesetzt aufheben, so muß eine jede tropfbare flüssige Masse, wenn nichts die Wirkung der Molecularkräfte stört, Kugel- (Tropfen-) Gestalt annehmen (man vergleiche **18**). Das Wasser fällt beim Regen in Tropfen herab und bei der Fabrikation der Bleischrote kommt das Blei, welches am Gipfel eines ziemlich hohen, thurmähnlichen Gebäudes (des Schrotthurmes) geschmolzen in ein entsprechendes Sieb von Blech gegossen wird, in einem Wasserbehältniß unten im Thurm in Gestalt vollkommener Kügelchen an, welche es während des Falles durch die Luft, wo nichts die Molekularkräfte störte, annahm.

Auch größere Flüssigkeitsmassen nehmen Kugelgestalt an, wenn man sie der Wirkung der Schwere entzieht. Es läßt sich dies, nach Plateau, leicht mit irgend einem fetten Oele zeigen, indem man eine gewisse Menge davon in ein Gemische aus Wasser und Alkohol bringt, welches genau die nämliche Dichte besitzt, wie das betreffende Oel. Denn da dann, zu Folge dieser Gleichheit der Dichten, das Oel gleichsam nur die Stelle einer gleichen Masse des besagten Gemisches einnimmt, und der Wirkung der Schwere vollständig entzogen ist, sich mit der aus Wasser und Alkohol gebildeten Flüssigkeit auch nicht mischt; so wird dasselbe (das Oel) mitten in dieser Flüssigkeit schweben bleiben und vollkommene Freiheit haben, jene äußere Gestalt anzunehmen, welche ihm die zwischen seinen eigenen Molekeln stattfindende Anziehung vorschreibt. Am leichtesten gelingt der Versuch, wenn man dem Gemische aus Wasser und Alkohol 22° Beaumé gibt, hierauf in dasselbe etwas Olivenöl sachte und vorsichtig hineinschüttet und zwar mittelst eines Trichters, der mit seinem unteren Ende ungefähr bis in die Mitte des Gemisches hineinreicht, und dann dem Gemische, — je nachdem das Kügelchen, welches das Oel bei Ankunft in demselben bildet und das durch einen kleinen Stoß an den Trichter von dessen Schnabel losgetrennt worden, in der Flüssigkeit zu Boden sinkt, oder in die Höhe steigt — allmälig so lange Wasser oder Alkohol zusetzt, bis das Oelkügelchen darin schweben bleibt. Wird nun in besagter vorsichtiger Weise mittelst des Trichters eine größere Oelmasse in die Mitte des vorerwähnten Gemisches gebracht, so erscheint sie darin als vollkommene Kugel, welche, nachdem sie vom Ende des Trichters, durch langsames Herausziehen desselben, abgetrennt worden, in der Flüssigkeit frei schwebend bleibt.

Eine andere nothwendige Folge des nachgewiesenen Zuges der Flüssigkeitstheilchen nach einwärts ist ein innigerer Zusammenhang dieser Theilchen zunächst an der Oberfläche als im Innern der Flüssigkeit, der sich in der Erfahrung auch wirklich dadurch zeigt, daß tropfbare Flüssigkeiten an der Oberfläche gleichsam mit einem festen Häutchen überzogen scheinen, indem gewisse Körper, z. B. eine feine Nähnadel, Erdtheile u. s. w. auf einer Flüssigkeit schwimmen können und sie wie ein leicht gespanntes Häutchen eindrücken, so lange sie nicht übernetzt sind, hingegen sehr rasch durch die ganze Flüssigkeit hinabfallen, sobald sie naß geworden sind, somit die Oberfläche durchbrochen haben.

Endlich wollen wir noch den Fall betrachten, daß die Entfernung ra (Fig. 139) des Molekels r eines tropfbaren Körpers von der Begrenzung **AB** desselben kleiner ist als der Halbmesser rc desjenigen Theils ce der gesammten Wirkungsfläche **ACBDA**, in welchem die Theilchen auf r abstoßend wirken. Sei die Fläche $\mathbf{A_1B_1}$ die jenseits r symmetrisch gelegene, so daß sich die Wirkungen der Flüssigkeitstheilchen auf r innerhalb des Stückes $\mathbf{ABA_1B_1}$ aufheben, so bleibt noch die abstoßende Wirkung des Stückes **men**, welche das Molekel r gegen **C** hin treibt und die anziehende Wirkung des Stückes $\mathbf{A_1DB_1nemA_1}$, welches das Molekel gegen **D** zieht, übrig, und es kömmt nur darauf an, welche dieser zwei entgegengesetzten Wirkungen die Oberhand gewinnt, so daß, wenn dies bei der ersteren Wirkung der Fall ist, r wirklich nach Außen getrieben wird. Dehnt man diese Betrachtung auf alle Theilchen der Flüssigkeit aus, die gegen die Begrenzung so wie r gelegen sind, so leuchtet ein, daß an der Oberfläche der Flüssigkeiten Abstoßung ihrer Theilchen stattfinden könne, woraus sich die durch die Erfahrung hinlänglich nachgewiesene, später näher zu besprechende Verdunstung tropfbarer Körper an der Oberfläche erklärt.

Fig. 139.



102. Geringe Zusammendrückbarkeit tropfbarer Flüssigkeiten. Tropfbare Körper lassen sich (wie die Erfahrung zeigt und schon in **18** angegeben wurde) selbst durch die größten uns zu Gebote stehenden Kräfte nur äußerst wenig zusammendrücken, so daß man sie selbst noch für beträchtliche Kräfte als unzusammendrückbar ansehen kann (was in der Folge auch immer geschehen soll), nehmen aber, wenn die Druckkraft zu wirken aufhört, wieder vollkommen ihr voriges Volumen an, sind daher vollkommen elastisch. Als Ursache dieser sehr geringen Zusammendrückbarkeit sieht man (siehe 8) S. 157) die äußerst rasche Zunahme der zwischen den Molekeln vorausgesetzten Abstoßungskraft an, wenn sie einander näher gerückt werden. Wir theilen hier die durch genaue Versuche ermittelten Größen der Zusammendrückbarkeit einiger auch in technischer Beziehung wichtiger Flüssigkeiten mit. Die den Namen derselben zur Seite stehenden Zahlen zeigen an, um wie viele Milliontel des ursprünglichen Volumens sie sich bei der gleichfalls nebenan bemerkten Temperatur durch die Kraft einer Atmosphäre, d. h. durch eine Kraft zusammendrücken lassen, die auf die Fläche eines □ Zolles mit nahe $12^1/_2$ Pfund wirkt. Die Zahlen, vor welchen ein **G** steht, wurden in neuerer Zeit von Grassi mit einem von Regnault construirten Apparat und durch Berechnung nach den für diesen Apparat von Werthheim aufgestellten Formeln ermittelt.

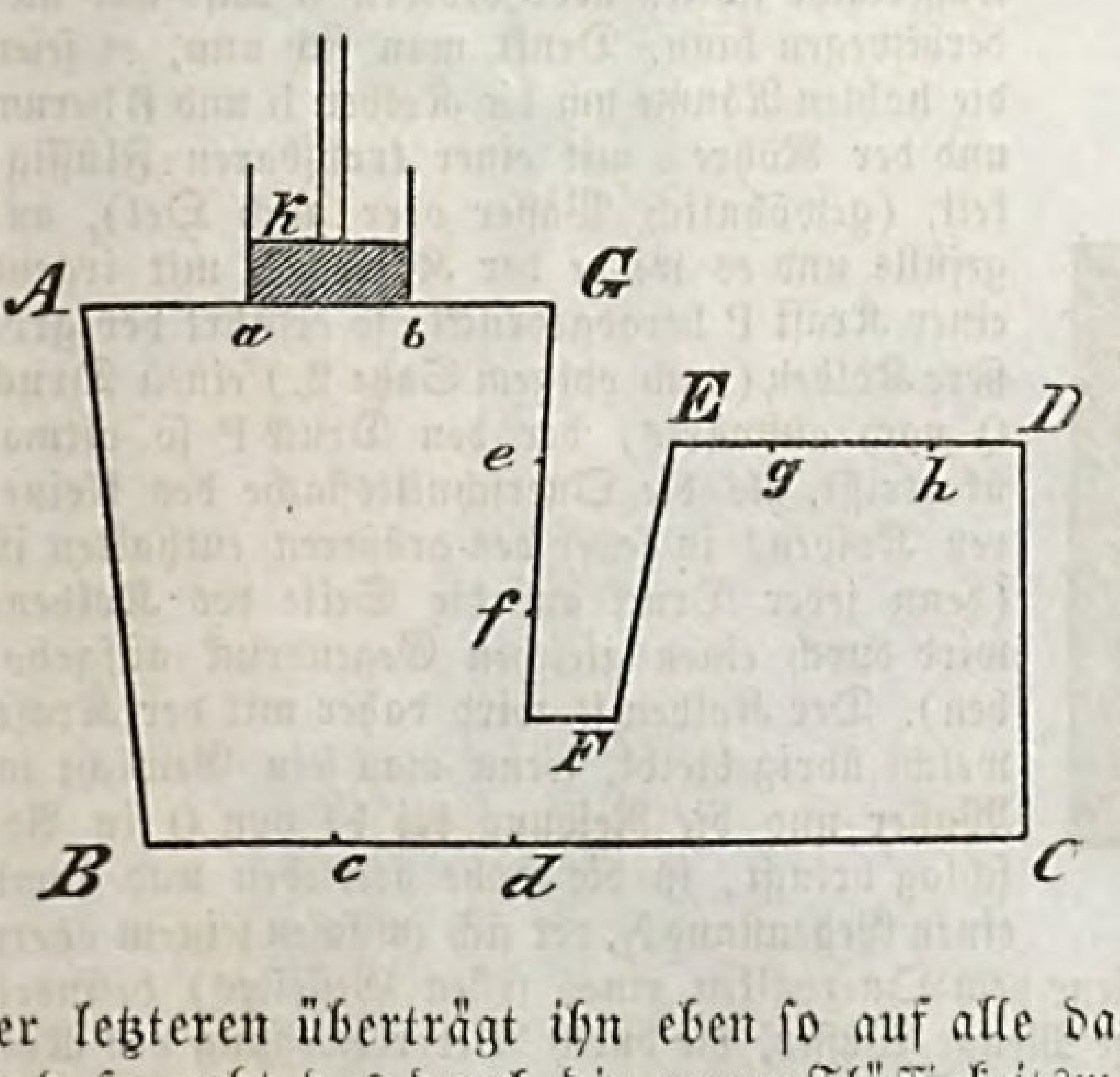
Wasser bei	0° C . .	G	50 Milliontel				Milliontel
" "	4·1 " . .	G	49·9 "	Weingeist von 32° Beaum. bei	0° C . .		94
" "	25 " . .	G	45·6 "	" " " " "	12·6 " . .		68
" "	53 " . .	G	44·1 "	Aether . . . . . "	0 "	G	111 0
Meerwasser "	17·5 " . .	G	43·6 "	" . . . . . "	14 "	G	140·0
" "	12·6 " . .		41 0 "	Terpentinöl . . . . . "	0 " . .		73·0
Quecksilber "	0 " . .	G	3·0 "	Schwefelsäure +2HO . "	13.6 "	G	24·2
" "	0 " . .		33·0 "	" conc. . "	0 " . .		32·0
" "	12 " . .		4·0 "	" " . "	12·6 " . .		33·0
Alkohol "	7·3 " . .	G	82·8 "				
" "	13·1 " . .	G	90·4 "				

Man sieht aus dieser Tabelle, daß die Zusammendrückbarkeit mit der Temperatur beim Wasser nur sehr wenig, beim Alkohol und Aether aber beträchtlicher wachse.

103. Grade der Verschiebbarkeit der Theilchen tropfbarer Körper. Die Verschiebbarkeit der Theilchen tropfbarer Flüssigkeiten, wie wir sie oben aus dem Spiele der Molekularkräfte ableiteten, sollte nothwendig eine absolut leichte (d. h. es sollte selbst durch die geringste Kraft eine Verschiebung dieser Theilchen bewirkbar sein) und eine solche wird auch bei allen folgenden theoretischen Untersuchungen über tropfbare Flüssigkeiten, wo die Verschiebbarkeit ihrer Theilchen in Betracht kömmt, vorausgesetzt. In diesem höchsten Grade kömmt jedoch, dem Zeugnisse der Erfahrung zu Folge, die Verschiebbarkeit der Theilchen keinem der bekannten tropfbaren Körper wirklich zu. Diese besitzen sie vielmehr in einem sehr verschiedenen, jenem höchsten mehr oder weniger nahe kommenden Grade. Am nächsten steht dem Zustande vollkommener Verschiebbarkeit die tropfbare Schwefelwasserstoffsäure und der tropfbare Kohlenwasserstoff; weiter davon entfernt sind Aether, Alkohol, Quecksilber, Wasser und noch weiter die fetten Oele. Das Wasser kann uns sämmtliche tropfbare Flüssigkeiten sowohl in Bezug auf Verschiebbarkeit als auf die übrigen, dieselben charakterisirenden Eigenschaften repräsentiren. Die Verschiebbarkeit ist bei demselben immer noch so groß, daß es nur einer sehr kleinen Kraft bedarf, um zu bewirken, daß ein Molekel aus der Mitte einer Wassermasse an die Oberfläche oder umgekeh t von dieser in die Mitte hinein sich bewege und die Masse nach allen Richtungen und in wie immer gekrümmten Bahnen durchwühle, wie man bei Wasser, worin Staub- oder andere kleine Körpertheilchen schwimmen, leicht beobachten kann.

104. Eigenschaften, die aus der Verschiebbarkeit der Theilchen tropfbarer Körper folgen. Eine solche ist, daß sich in einer tropfbaren Flüssigkeit die Wirkung einer nur nach bestimmter Richtung zielenden Kraft nach allen Richtungen mit unveränderter und gleicher Stärke fortpflanzt. Wirkt nämlich auf irgend einen Theil eines (als schwerlos und unzusammendrückbar gedachten) tropfbaren Körpers eine Kraft, z. B. auf die Fläche ab des das Gefäß **ABCDEFG** (Fig. 140) erfüllenden Wasserkörpers ein durch den Kolben k ausgeübter Druck von der Größe **P**, so wird jedes mit der untern Fläche dieses Kolbens unmittelbar in Berührung stehende Wasser-Molekel mit einer gewissen Kraft dem Drucke desselben auszuweichen suchen und zwar nicht blos nach der Richtung dieses Druckes (abwärts), sondern auch nach jeder andern denkbaren Richtung (seitwärts und aufwärts), weil die Molekel nach allen Seiten hin gleich leicht verschiebbar sind. Jedes von k unmittelbar gedrückte Molekel theilt also den empfangenen Impuls ungeschwächt sämmtlichen ringsherum anstoßenden Molekeln mit, jedes dieser letzteren überträgt ihn eben so auf alle dasselbe zunächst umgebenden Theilchen und so geht das durch die ganze Flüssigkeitsmasse nach allen Richtungen hin bis an die Wände des Gefäßes fort. Jedes Flüssigkeits-Molekel der ganzen Masse, sowohl im Innern als zunächst an den Gefäßwänden, empfängt somit einen Impuls von der nämlichen Größe, wie ein vom Kolben k unmittelbar gedrücktes, und überträgt diesen zuletzt auf die Gefäßwand und ebenso auf in die Flüssigkeit tauchende oder sonst mit ihr in Berührung stehende feste Körper. Da nun mit jedem Theile cd oder ef oder gh u. s. f. der Wand oder der besagten festen Körper, der eine der untern

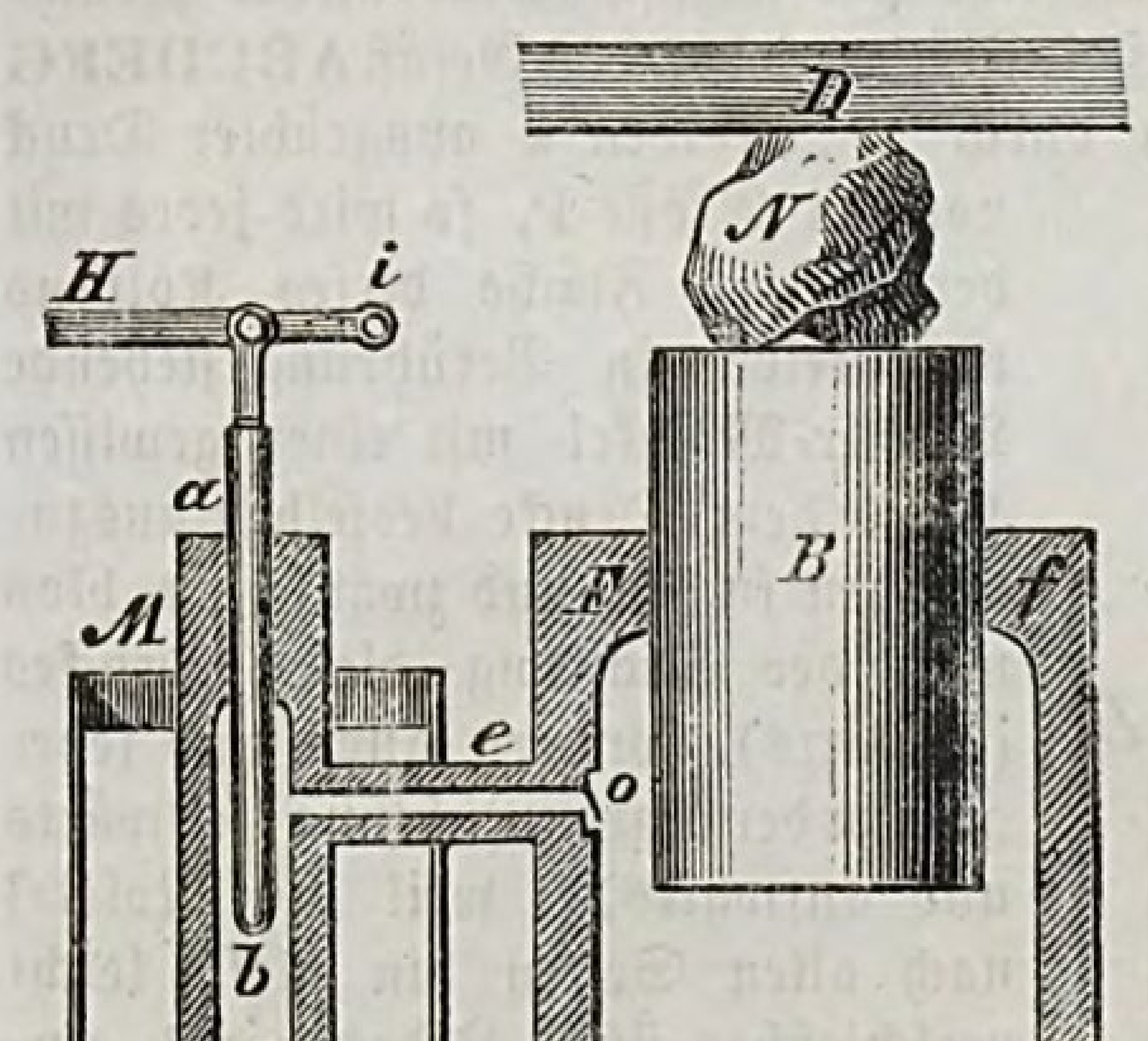
Fig. 140.



Fläche ab des Kolbens gleiche Ausdehnung hat, (nach 5) S. 156) genau ebenso viele Molekel in Berührung stehen wie mit ab, so erfährt cd, ef, gh u. s. f. einen Druck, der eben so groß ist, wie der Druck **P**, den der Kolben unmittelbar auf die Flüssigkeit übt, und es wird somit ein bestimmtes Stück der Gefäßwand, z. B. **ED** einen Gesammtdruck **Q** erleiden, der den Druck **P** des Kolbens so oftmal übertrifft, als die drückende Kolbenfläche ab in **ED** enthalten ist, so daß $Q:P = ED:ab$ und daher $Q = P \cdot \frac{ED}{ab}$ . . . **1.** ist. Aus dieser Gleichung folgt, daß man mit einem, auf eine tropfbare Flüssigkeit wirkenden Kolben in Folge Vermittlung dieser letzteren auf einen bestimmten Theil der Fläche eines sie einschließenden, in sie eingetauchten oder mit ihr auf irgend eine andere passende Art in Berührung stehenden Körpers einen desto größeren Druck ausüben könne, a) mit je größerer Kraft (**P**) auf den Kolben gewirkt wird und b) je größer der betreffende Flächentheil (**ED**) im Verhältniß zur untern Fläche (ab) des Kolbens, d. h. je größer **ED** bei einer und derselben Ausdehnung von ab oder je kleiner ab bei gleicher Größe von **ED** ist . . . **2.** Daß dieses Resultat durch die Schwere, deren Wirkung wir bei tropfbaren Körpern bisher außer Acht gelassen haben, keine wesentliche Aenderung erleide, wird aus folgenden, über diese Wirkung handelnden Absätzen hinlänglich klar werden.

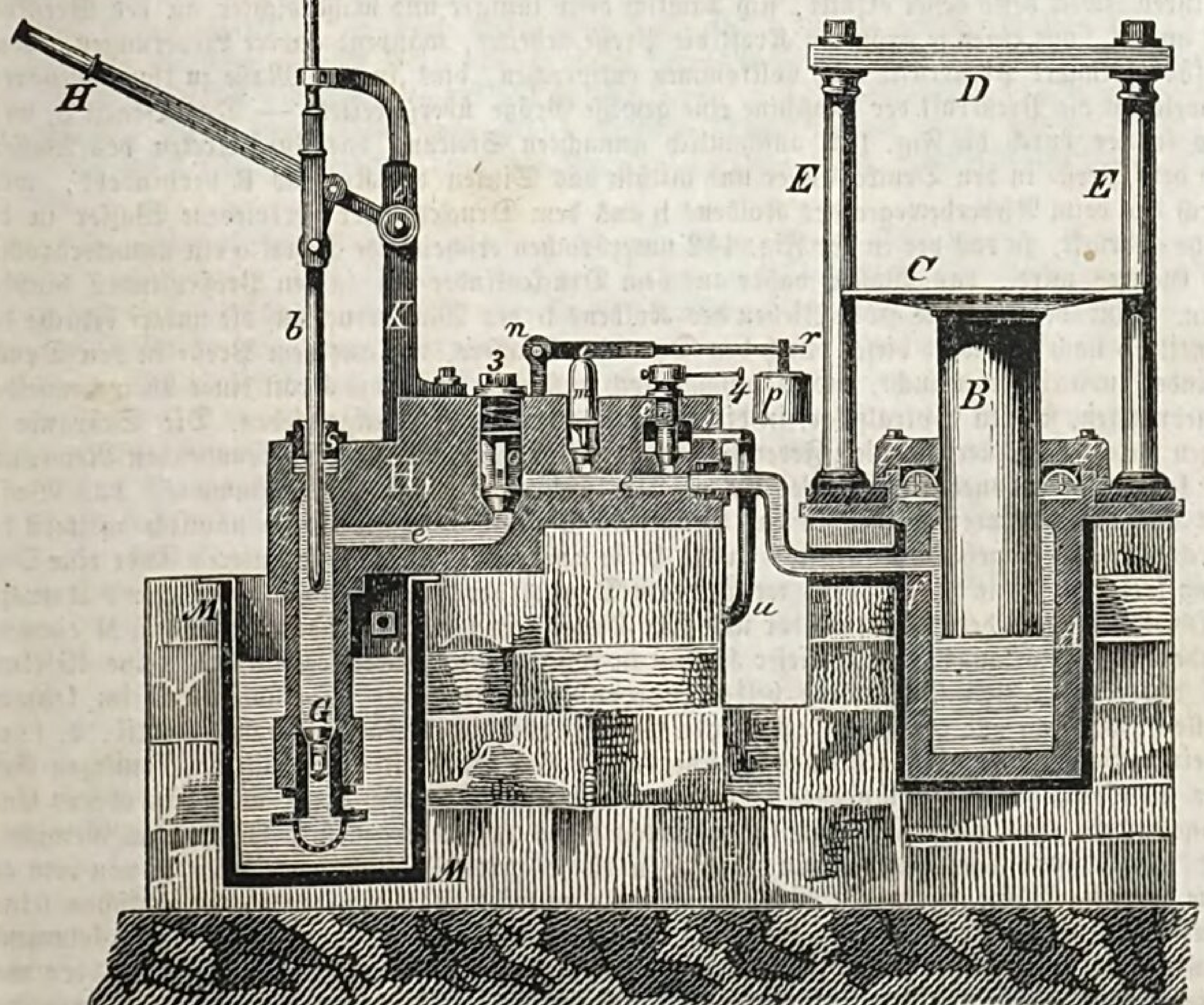
Auf der eben beleuchteten, aus der Verschiebbarkeit und Unzusammendrückbarkeit tropfbarer Flüssigkeiten folgenden gleichmäßigen und gleich starken Fortpflanzung eines einseitigen Druckes nach allen Seiten beruht die von dem Engländer Bramah im J. 1796 erfundene, heut zu Tage in verschiedenen Fabriks- und Gewerbszweigen eine so wichtige Rolle spielende hydraulische Presse. Um von der Einrichtung und Wirkung derselben einen klaren Begriff zu bekommen, denke man sich, es sei a (Fig. 141) ein enger, hohler Cylinder, in dessen Obertheil sich wasserdicht ein massiver Cylinder (Kolben) b auf- und abschieben läßt, und dessen weiterer Theil durch einen Kanal e mit einem hohlen Cylinder AFf von vielmal größerem Durchmesser communicirt, in welchem sich ebenfalls ein oben bei Ff wasserdicht schließender Kolben B auf- und niederbewegen kann. Denkt man sich nun, es seien die hohlen Räume um die Kolben b und B herum und der Röhre e mit einer tropfbaren Flüssigkeit, (gewöhnlich Wasser oder auch Oel), angefüllt und es werde der Kolben b mit irgend einer Kraft P herabgedrückt, so erfährt der größere Kolben (nach obigem Satze 2.) einen Druck Q nach aufwärts, der den Druck P so oftmal übertrifft, als die Querschnittsfläche des kleineren Kolbens in jener des größeren enthalten ist (denn jeder Druck auf die Seite des Kolbens wird durch einen gleichen Gegendruck aufgehoben). Der Kolben B wird daher mit der Kraft, welche übrig bleibt, wenn man sein Gewicht im Wasser und die Reibung bei Ff von Q in Abschlag bringt, in die Höhe getrieben und somit einen Gegenstand N, der sich zwischen seinem obern Ende und einem festen Widerhalte D (meistens dem Querbalken eines festen Gestelles) befindet, zusammendrücken. Da aber die sehr geringe Menge Wasser, die durch Niederbewegung des Kolbens b (Druckkolbens) aus dem Cylinder aa (Druckcylinder) in den viel weitern Cylinder A (Preßcylinder) hinübergetrieben wird, den Kolben B nur um äußerst wenig zu heben vermag, so würde die erreichbare Zusammendrückung des Gegenstandes N in den meisten Fällen eine viel zu unbedeutende sein, wenn nicht eine eigene Einrichtung getroffen wäre, welche gestattet, immer neue Mengen Wassers aus dem Druckcylinder in den Preßcylinder hinein und dadurch den Preßkolben mit gleicher Kraft immer höher und höher zu treiben, bis die erwünscht starke Zusammendrückung des betreffenden Gegenstandes N bewerkstelligt ist. Zu diesem Ende ist der Druckcylinder mit einem Wasserbehältnisse M umgeben, welches mit demselben durch eine Klappe G

Fig. 141.



communicirt, die sich aus dem Wasserbehältnisse in den Cylinder hinein öffnet, in umgekehrter Richtung hingegen schließt; und eine ähnliche Klappe o gestattet dem Wasser aus der Röhre e in den Preßcylinder zu gelangen, verhindert dasselbe aber den umgekehrten Weg, nämlich aus dem Preßcylinder durch die Röhre e wieder in den Druckcylinder zu gehen. Durch diese Klappen, deren zweckmäßigste Einrichtung und Anordnung man aus der folgenden Figur ersehen wird, kann nun ein sehr starkes Zusammenpressen der Gegenstände erreicht werden. Denn gesetzt, es wäre der Preßkolben B durch Hinabdrücken des Druckkolbens b um die mögliche Größe gehoben und man zieht jetzt den Kolben b wieder in die Höhe, so kann das Wasser aus dem Preßcylinder A in den im Druckcylinder entstehenden leeren Raum nicht zurück, der Kolben B also aus seiner erlangten Stellung nicht wieder herabsinken, indem die sich schließende Klappe o diesen Rückweg absperrt; aber es füllt sich der besagte leere Raum aus dem Behältnisse M durch die Klappe G wieder mit Wasser. Bei abermaligem Herabdrücken des Kolbens b wird dieses Wasser, da die Klappe G ihm den Rückweg in das Gefäß M verwehrt, durch die Klappe o wieder in den Preßcylinder hineingepreßt, hiedurch der Kolben B neuerdings gehoben, der Gegenstand somit stärker zusammengepreßt u. s. f. Um mit geringem Kraftaufwande beim Niederdrücken des Kolbens b eine große Wirkung zu erzielen, wird dieses mittelst eines bei i unterstützten Hebels Hi vollführt, und um auch Gegenstände größerer Ausdehnung der Pressung unterwerfen zu können, trägt der Kolben B am obern Ende eine Platte (**Preßplatte**) C (**Fig. 142**). Bei großen hydraulischen Pressen mit hohem und weitem Preßcylinder ist dieser gewöhnlich und manchmal auch das Wasserbehältniß M mit dem Druckcylinder, wenigstens zum großen Theil, in die Erde versenkt, theils damit die Maschine keinen zu großen Platz im Arbeitslokale einnimmt, theils damit die Arbeiter die Preßplatte und den Raum, in welchem die Zusammenpressung der Gegenstände erfolgt, so wie den Hebel des Druckcylinders besser und bequemer zur Hand haben. Man sieht alle die beschriebenen Theile und zwar mit den nämlichen Buchstaben wie in Fig. **141** bezeichnet, durch Fig. **142** in derjenigen Beschaffenheit und Anordnung dargestellt, welche sie bei wirklich ausgeführten größeren Maschinen am häufigsten haben, und welche sich in Bezug auf gute Leistung, auf Dauerhaftigkeit und auf Leichtigkeit, womit die Theile, die in der Anwendung leichter aus der Ordnung kommen (Klappen,

Fig. 142.



Liederungen u. s. w.) wieder zurecht gebracht werden können, empfiehlt. Es muß bezüglich der Fig. 142, welche die Presse im vertikalen Durchschnitte durch die Mitte zeigt, bemerkt werden, daß der Preßcylinder mit seinem Kolben B und dem Preßgestelle EDE im Verhältniß zu den übrigen Theilen der Maschine aus Mangel an Raum viel zu klein dargestellt ist. Es ist endlich zu voller Einsicht in das Wesen einer hydraulischen Presse nur noch eine genaue Beschreibung einiger wesentlicher Theile derselben erforderlich, die wir hier im Folgenden geben wollen.

Die Cylinder sammt Kolben, ihr Verbindungsrohr e und das Stück H_1, welches mehrere, sogleich näher zu besprechende Bestandtheile enthält, bestehen immer, das Preßgestell EDE meistens, aus Metall, bei großen Pressen aus Eisen. Der wasserdichte Anschluß der Kolben b und B im Obertheil des Druck- und des Preßcylinders wird bei ersterem mittelst übereinander liegender, gut mit Talg und Oel getränkter Lederringe bewerkstelligt, durch welche der Kolben b hindurchgeht und die mit Hülfe der Schraube s so stark zusammengepreßt werden, daß sie an denselben rings herum sich innig und wasserdicht anschmiegen. In eine Vertiefung oben im Schraubenkopfe wird von Zeit zu Zeit etwas Oel nachgegossen, welches durch einen kleinen Spielraum, der durch die Schraube hinab um den Kolben b herum belassen ist, zu den Lederringen gelangt und sie immer geschmeidig und wasserdicht erhält. Bei dem Preßcylinder hat die den wasserdichten Anschluß bezweckende Liederung entweder eine der eben beschriebenen ganz ähnliche Einrichtung oder sie besteht in einer aus dickem Leder (Pfundleder) gepreßten, kreisrunden Rinne, welche mit ihrer Vertiefung in einer in das Innere des Preßcylinders sich öffnenden ringförmigen Aushöhlung im Obertheil des letzteren auf einer rings um den Kolben B herumlaufenden Rippe 2 aufsitzt (gleichsam reitet). Die Bögen 1, 1 beiderseits B stellen den Durchschnitt dieser um B herumgehenden Lederrinne vor, welche durch die auf den Preßcylinder aufgeschraubte Platte F, F niedergehalten wird. Tritt nun bei Anwendung der Presse aus dem Preßcylinder um den Kolben B herum Wasser in die Höhe, so gelangt dieses in der besagten Aushöhlung sogleich unter die Lederrinne, diese wird daher mit der ganzen Gewalt, mit welcher der Kolben B empor und das Wasser um ihn herum herausgepreßt wird, auseinander gedrückt, so daß sie sich mit ihrem, dem Kolben B zugekehrten Rande an diesen und mit dem davon abgewendeten Rande an die Seitenwand der mehr erwähnten ringförmigen Aushöhlung im Preßcylinder überall anschließt und jedes Hervordringen des Wassers aus diesem Cylinder verhindert. Die eben beschriebene Rinnenliederung hat vor jeder andern Liederung den Vorzug, daß sie ihren Zweck desto besser erfüllt, sich nämlich desto inniger und wasserdichter an den Preßkolben anlegt, mit einer je größeren Kraft die Presse arbeitet, während andere Liederungen, wenn sie für geringere Preßkräfte auch vollkommen entsprechen, dies in dem Maße zu thun aufhören, in welchem die Preßkraft der Maschine eine gewisse Größe überschreitet. — Das Ventil o, welches in der durch die Fig. 142 anschaulich gemachten Stellung das Zurücktreten des Wassers aus dem Preß- in den Druckcylinder und mithin das Sinken des Kolbens B verhindert, wird durch das beim Niederbewegen des Kolbens b aus dem Druckcylinder vertriebene Wasser in die Höhe gedrückt, so daß der in der Fig. 142 unterbrochen erscheinende Kanal e ein ununterbrochenes Ganzes wird, das Wasser daher aus dem Druckcylinder frei in den Preßcylinder hinüber kann. Läßt beim in die Höhe Ziehen des Kolbens b der Wasserdruck auf die untere Fläche des Ventils o nach, so wird dieses durch den Druck des Wassers, das aus dem Preß- in den Druckcylinder zurückzutreten sucht, und manchmal noch außerdem durch die Kraft einer über demselben angebrachten, starken Spiralfeder, in die Stellung der Figur zurückgetrieben. Die Schraube 3, gegen welche sich einerseits diese Feder stemmt, gestattet im Falle einer vorkommenden Reparatur ein leichtes Herausnehmen des Ventils o. Die Schraube c hat die Bestimmung, das Wasser aus dem Preßcylinder wieder in das Behältniß M abzulassen. Wird sie nämlich mittelst des durch ihren Kopf gehenden Hebels 4 in die Höhe geschraubt, so gibt ihr unteres Ende eine Oeffnung frei, durch die das Wasser, welches dem Drucke (der Rückwirkung) des Kolbens B auszuweichen sucht, aus dem Preßcylinder und dem Kanal e in die bei v in das Behältniß M einmündende Röhre u gelangt, so daß dieser Kolben in Folge seines Gewichtes sinkt und seine Wirkung auf den eingepreßten Gegenstand beliebig vermindert oder ganz aufgehoben und im letzteren Falle dieser leicht aus der Presse genommen werden kann. m ist das Sicherheitsventil, d. i. ein in einer Bohrung des Metallstückes H_1 sitzender Zapfen, der mit seinem untern, konischen Ende eine in die Röhre e einmündende Oeffnung verschließt und durch einen über sein oberes Ende hingehenden, mit einem Gewichte p belasteten Hebel nr niedergedrückt wird. Das Gewicht p und sein Abstand vom Unterstützungspunkte n ist so gewählt, daß das Ventil m von dem auf seine unterste Fläche wirkenden Wasserdruck gehoben wird und durch den Raum zwischen seinen Seitenflächen und der Fläche der Bohrung, worin es sitzt, das aus dem Druckcylinder kommende Wasser ausfließen läßt, sobald mittelst der Presse der höchste Druck erreicht worden, den man erzielen will, oder für den sie berechnet ist und der nicht überschritten werden darf, wenn man die Presse nicht der Gefahr aussetzen will, beschädigt oder verdorben zu werden. Dieses Sicher-

heitsventil setzt uns zugleich in die Lage, in jedem einzelnen Falle die Gewalt (Kraft) zu bestimmen, welche mit der Presse auf den eingepreßten Gegenstand ausgeübt wird. Gesetzt es wäre irgend ein auf der Preßplatte C liegender Gegenstand bis zu erwünschter Stärke zusammengepreßt und man wollte die Größe des Druckes erfahren, dem dieser Gegenstand dabei ausgesetzt ist, so braucht man nur das Gewicht p auf dem längern Hebelarme nr, der so wie der kürzere Arm nc in gleich große Theile getheilt ist, sehr allmälig so lange zurück (d. i. gegen n hin) zu schieben, bis das Wasser um das Sicherheitsventil m herum eben herauszuspritzen anfängt. Angenommen, es geschehe dies, wenn das Gewicht p bei dem Punkte r steht, so ergibt sich nach der Theorie des einarmigen Hebels, unter (57) S. 114, die Kraft q, womit das Wasser auf die unterste Fläche des Ventils m drückt und dieses zu heben anfängt, aus der Gleichung $q = \frac{p.nr}{cn}$. Kennt man nun die Größe dieser untersten Ventilfläche, so darf man durch dieselbe nur den Querschnitt des Preßkolbens dividiren. So oftmal in diesem Querschnitte die besagte Fläche enthalten ist, so vielmal größer als der berechnete Druck q ist (nach Satz 1 S. 163) auch (sehr nahe) der Druck, unter dem sich der eingepreßte Gegenstand befindet. — Man kann diesen Druck auch aus der am Hebel Hi wirkenden Kraft, dem Verhältniß der Arme dieses Hebels und der Querschnitte des Druck- und Preßkolbens berechnen; muß dann aber von dem so erhaltenen Resultate, damit dasselbe dem von der Erfahrung (z. B. durch das eben beschriebene Experiment) erhaltenen nahe komme, ein Drittel in Abschlag bringen, welches von den an der Presse stattfindenden Reibungen verzehrt wird, auf die bei dieser Berechnung nicht gehörige Rücksicht genommen werden kann. Endlich ist bezüglich des Sicherheitsventils noch zu bemerken, daß dasselbe bei etwas abgeänderter Einrichtung auch zugleich den Dienst der Schraube c, nämlich zum Ablassen der Flüssigkeit aus dem Preßcylinder in das Behältniß M leisten, diese Schraube also ganz entbehrlich machen kann.

Um eine Vorstellung von der enormen Kraft zu erhalten, welche mittelst einer hydraulischen Presse von mäßig weitem Preßcylinder ausgeübt werden kann, nehmen wir an, es drücke ein Mann den Hebel H mit einer Kraft von 50 Pfund nieder, so wird hierdurch, wenn der kürzere und längere Hebelarm sich wie **1 : 12** verhalten, der Druckkolben b mit der Kraft **50.12 = 600** Pfund hinabbewegt; betragen ferner die Durchmesser der Querschnitte des Druck- und Preßkolbens $^1/_3$ Zoll und **12** Zoll, so daß ihr Verhältniß **1:36** und das Verhältniß der Querschnittsflächen **1:1296**, mithin der Querschnitt des Preßkolbens **1296**mal größer als jener des Druckkolbens ist, so wird (nach Satz **1** S. **162**) die auf den Preßkolben übertragene Kraft auch **1296**mal größer sein, als die Kraft von **600** Pfund, mit welcher der Querschnitt des niedergedrückten Druckkolbens auf das Wasser wirkt, d. i. der Preßkolben sollte auf den einzupressenden Stoff einen Druck von **600 × 1296 = 777600** Pfund üben, wovon jedoch nach Abschlag des Drittels, welches durch die Reibung verzehrt wird, nur **518400** Pfund übrig bleiben.

Die hydraulischen Pressen, wie sie z. B. zum Auspressen des Saftes der Runkelrüben in der Zuckerfabrikation, der Oelsäure aus dem Talge bei Fabrikation der Stearinkerzen, des Oeles aus den ölhaltenden Samen, zum Pressen der Tuche und des Papiers in der Tuch- und Papierfabrikation oder zum Zusammenpressen faseriger Stoffe, damit diese beim Aufbewahren oder beim Transport keinen so großen Raum einnehmen (z. B. des Heu's für die Cavallerie im Kriege) u. s. w. angewendet werden, übertreffen die eben berechnete Maschine oft weit an Kraft, indem sie eine Pressung von **8000—20000** Centner und darüber gestatten.

Der Anwendung hydraulischer Pressen als Motoren (zur Erzeugung von Bewegung) ist der Umstand ungünstig, daß der Preßkolben bei jedem Niedergang des Druckkolbens sich immer nur um eine außerordentlich kleine Größe hebt; es müssen sich nämlich die Bewegungen beider Kolben umgekehrt wie ihre Querschnittsflächen verhalten. Wenn also in unserem obigen Beispiel der Druckkolben um **1** Zoll niedergedrückt wird, kann sich der Preßkolben nur um **1296**stel eines Zolles heben. Wo es sich jedoch nur um geringe Ortsveränderungen handelt, die sehr große Kräfte erfordern und wobei die dazu nöthige Zeit nicht in Betracht kömmt (z. B. beim Heben sehr großer Lasten auf geringe Höhen), sind hydraulische Pressen auch als Motoren sehr vortheilhaft.

Auf die aus der außerordentlich leichten Verschiebbarkeit und Unzusammendrückbarkeit folgende Eigenschaft tropfbarer Flüssigkeiten, einen einseitigen Druck nach allen Seiten ungeschwächt fortzupflanzen, gründet sich auch das Verfahren, die Dampfkessel (deren Einrichtung erst in der Wärmelehre näher besprochen werden kann) dadurch zu probiren (d. i. auf ihre Festigkeit zu untersuchen), daß man in dieselben mittelst einer (dem Druckwerke an einer hydraulischen Presse ähnlichen) Druckpumpe mit Gewalt so lange Wasser hineinpreßt, bis ein gehörig belastetes Ventil von bekannter Querschnittsfläche (der Art wie das in Fig. **142** anschaulich gemachte Sicherheitsventil), indem es sich hebt und nach allen Seiten hin Wasserstrahlen hervor-

springen läßt, anzeigt, daß jeder Quadratzoll der Kesselfläche jenen höchsten Druck von innen nach außen erfahren habe, welchen er ohne Beschädigung des Kessels muß aushalten können.

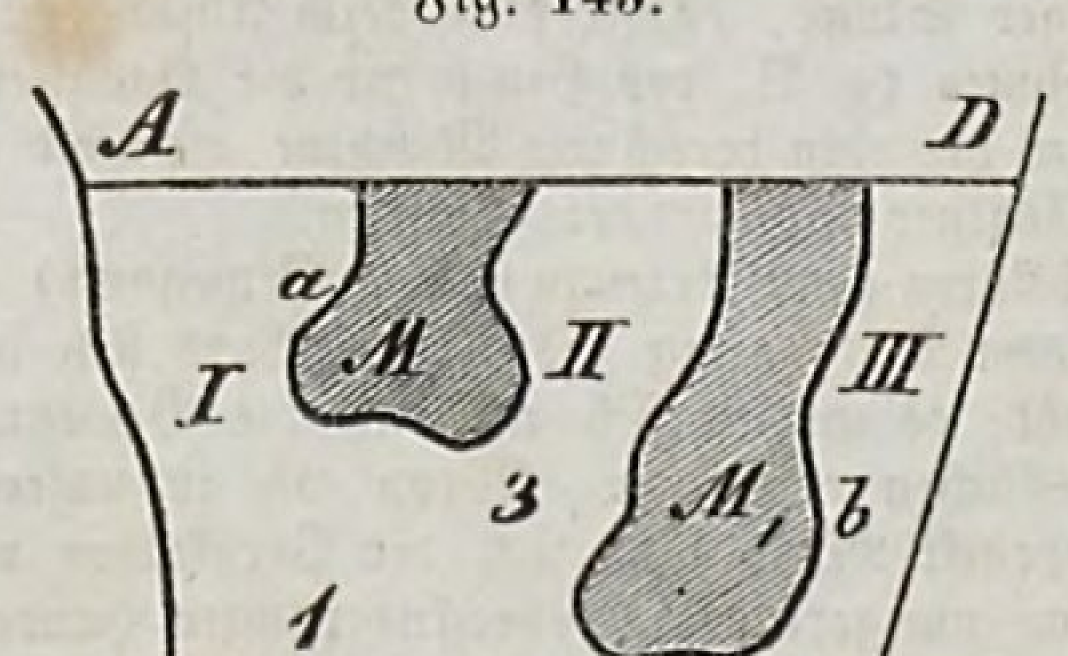
105. Wirkungen der Schwere bei tropfbaren Körpern. Wird eine tropfbare Flüssigkeit in hinreichender Menge in ein Gefäß gebracht, so üben in Folge der Schwere die obern Theilchen einen Druck auf die untern, diese suchen, der leichten Verschiebbarkeit wegen, dem Drucke nach allen Richtungen hin auszuweichen, und es muß daher so lange ein Auseinanderfließen der tropfbaren Masse stattfinden, bis demselben durch den Widerstand der Gefäßwände Einhalt gethan wird. Es folgt hieraus, daß eine tropfbare Flüssigkeit in einem Gefäße sich nach allen Seiten bis zur Berührung der Wände desselben ausbreiten, gleichsam die innere Gestalt des Gefäßes annehmen muß, vorausgesetzt, daß sie darin in hinreichender Menge vorhanden ist.

Die freie Oberfläche einer in einem Gefäße in Ruhe befindlichen Flüssigkeit muß unter der Voraussetzung, daß die Flüssigkeit und das Materiale des Gefäßes in keiner Art aufeinander einwirken, immer convex kugelförmig (der Kugelfläche der Erde parallel) sein, weil nur dann die Richtungen der die Flüssigkeitstheilchen gegen den Erdmittelpunkt ziehenden Schwere auf der freien Flüssigkeitsoberfläche senkrecht stehen, was Bedingung ist, damit die ganze Wirkung dieser Kraft durch den Widerstand der Theilchen im Innern der Flüssigkeitsmasse aufgehoben werde, mithin Ruhe herrsche. Denn wirkte die Schwerkraft auch nur auf ein einziges Theilchen der Oberfläche schief, so ließe sich dieselbe in zwei Componenten zerlegen, wovon die eine auf der Flüssigkeitsoberfläche senkrecht (normal) steht und durch vorbesagten Widerstand aufgehoben werden, die andere hingegen zu dieser Oberfläche tangential wirken und eine Verschiebung des Theilchens längs der Oberfläche, also Bewegung hervorbringen müßte . . . . (69)

Da nach **64** die Richtungen der auf nahe aneinander gelegene Punkte wirkenden Schwere als parallel angesehen werden können, so ist jede freie Flüssigkeitsoberfläche von nicht zu großer Ausdehnung als eben und horizontal anzusehen (**14**). In großen Behältnissen, wie sie das Bett eines großen See's oder Meeres bildet, geht dies nicht mehr an; es stellt sich da die Convexität der Wasseroberfläche schon dem bloßen Auge mehr oder weniger deutlich dar.

106. Gleichgewicht einer tropfbaren Flüssigkeit in einem Communicationsgefäße. Es sei **ABCD** (Fig. 143) ein wie immer gestaltetes Gefäß, worin sich eine tropfbare Flüssigkeit im Zustande des Gleichgewichtes (der Ruhe) befindet, deren horizontale Oberfläche durch **AD** vorgestellt wird, so kann offenbar das Gleichgewicht in der Flüssigkeit nicht gestört werden, wenn man sich davon beliebige Stücke **M**, $\mathbf{M_1}$ u. s. w., ohne daß sie ihren Platz ändern, in den festen Zustand verwandelt denkt; denn es werden diese Stücke dann nicht aufhören, den sie umgebenden Flüssigkeitstheilchen den nämlichen Widerstand zu leisten, den sie im noch flüssigen Zustande geleistet haben und welcher zugleich mit dem Widerstande der Gefäßwände die Ursache des Gleichgewichtes in der übrigen Flüssigkeitsmasse war. Das Gleichgewicht müßte auch fortbestehen, wenn man die Stücke **M**, $\mathbf{M_1}$ u. s. w. aus dem Gefäße ganz herausnähme, so daß von demselben gleichsam nur die äußerste feste Rinde a, b u. s. w. (an ungeänderter Stelle) übrig bliebe, und wenn man endlich diese Rinde durch eine Wand aus was immer für einem festen Materiale ersetzte. Dann hätte man aber aus dem ursprünglich vorhanden gewesenen Gefäße **ABCD**

Fig. 143.



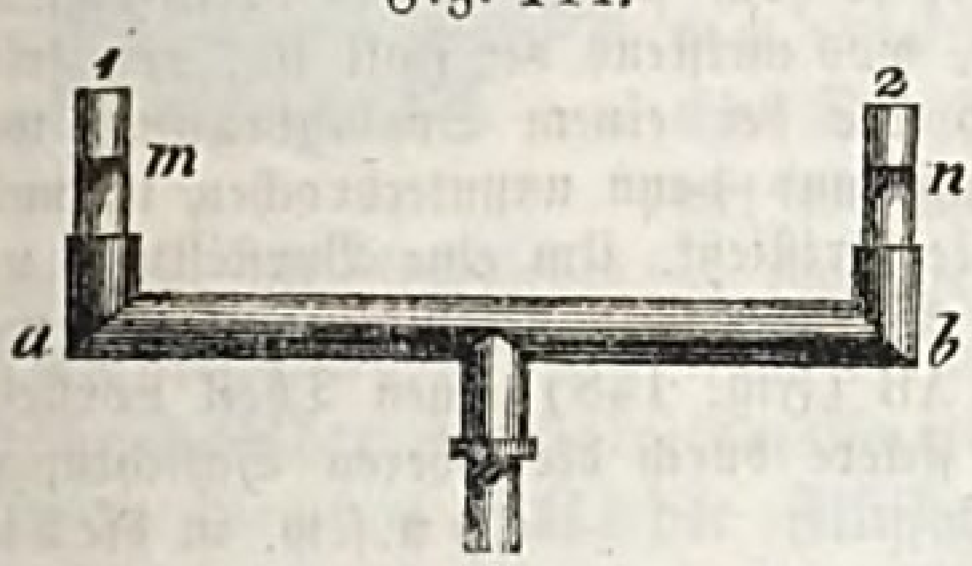
ein Gefäß mit mehreren, unter einander durch die Räume 1, 2, 3 u. s. w. in Communication stehenden Theilen I, II, III u. s. w. gemacht. Man nennt ein solches Gefäß ein Communicationsgefäß, und die Theile I, II, III . . . die Arme desselben.

Aus der vorstehenden Betrachtung, welche uns zeigt, daß durch Umwandlung irgend eines Gefäßes in ein wie immer beschaffenes Communicationsgefäß im Gleichgewichtsstande der darin enthaltenen Flüssigkeit, mithin auch im Stande der Oberfläche dieser letzteren keine Veränderung vor sich gehe, folgt der in vieler Beziehung höchst wichtige Satz: daß in allen wie immer gestalteten (gleich- oder ungleich weiten, geradlinigen oder gekrümmten, senkrechten oder geneigten u. s. w.) Armen eines Communicationsgefäßes die Oberflächen einer und derselben Flüssigkeit in der nämlichen Horizontalebene liegen oder mit andern Worten, daß eine tropfbare Flüssigkeit in allen Armen eines Communicationsgefäßes gleich hoch stehen müsse. (Ueber die Ausnahmen von diesem Gesetze kann erst später geredet werden) . (70)

Auf dem Satze (70) beruhen unter vielen Apparaten und Erscheinungen auch folgende:

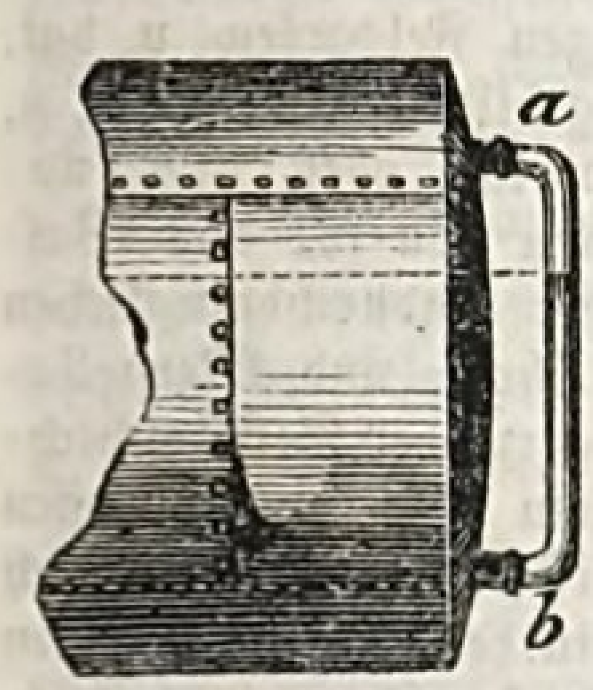
1. Die zum Nivelliren dienende, sogenannte Kanalwage, d. i. eine blecherne, einige Fuß lange und etwa 1 Zoll weite Röhre ab (Fig. 144), in deren senkrecht aufstehenden Enden die cylindrischen Gläser, 1, 2 eingekittet sind und welche Wasser oder andere Flüssigkeiten enthält. Da nach (70), die Oberflächen m, n dieser letzteren in beiden Armen 1 und 2 immer in eine Horizontalebene fallen, so ist die Visur längs mn in die Ferne stets horizontal.

Fig. 144.



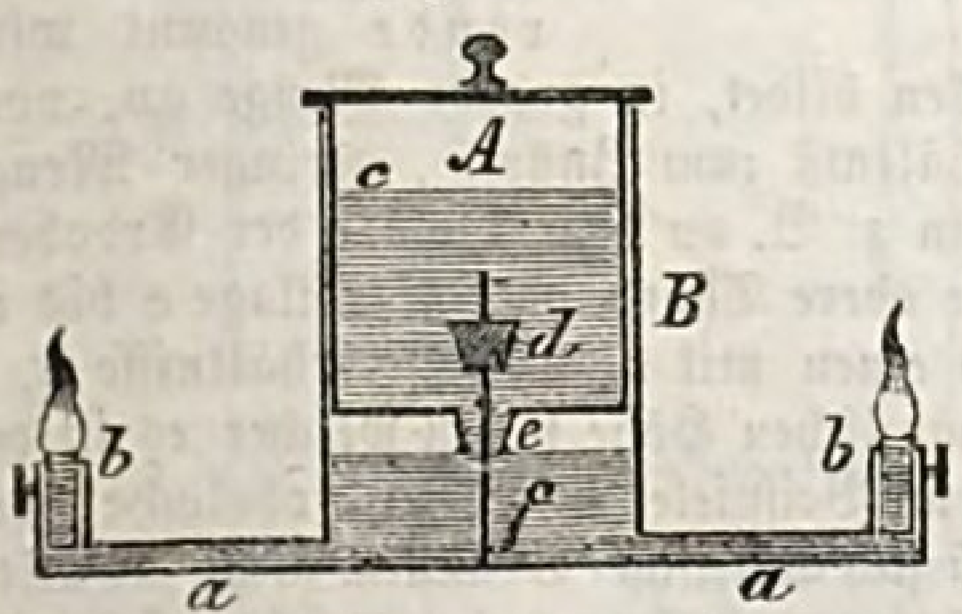
2. Die sogenannten Wasserstandgläser, welche, an Dampfkesseln oder anderen, tropfbare Flüssigkeiten enthaltenden, geschlossenen Behältnissen mit undurchsichtigen Wänden, dazu dienen, um die Höhe des Flüssigkeitsstandes darin beobachten zu können, bestehen in einer vertikalen gläsernen Röhre ab (Fig. 145), deren horizontal umgebogene Enden in einer der Seitenwände des Behältnisses auf passende Art eingekittet sind. Die Flüssigkeit wird nun in ab genau eben so hoch stehen wie im Innern des Behältnisses. Ein solches mit dem Innern eines Behältnisses communicirendes Rohr, dessen oberes Ende dann aber nicht umgebogen und in dem Behältnisse festgemacht, sondern frei und offen ist, kann auch in vielen Fällen sehr bequem dazu dienen, um das Behältniß, ohne es öffnen zu müssen, bis zu erforderlicher Höhe mit irgend einer Flüssigkeit anzufüllen und diese beliebig oft zu erneuern. Man braucht zu diesem Ende von der betreffenden Flüssigkeit nur so lange in das Rohr einzugießen, bis sie darin eben so hoch steht, als der Stand derselben im Behältnisse beabsichtigt wird, nachdem vorher durch eine (mittelst Hahn, Klappe oder Spunt u. s. w.) verschließbare Oeffnung im Boden des Behältnisses oder des Communicationsrohres die zu erneuernde Flüssigkeit abgelassen worden.

Fig. 145.



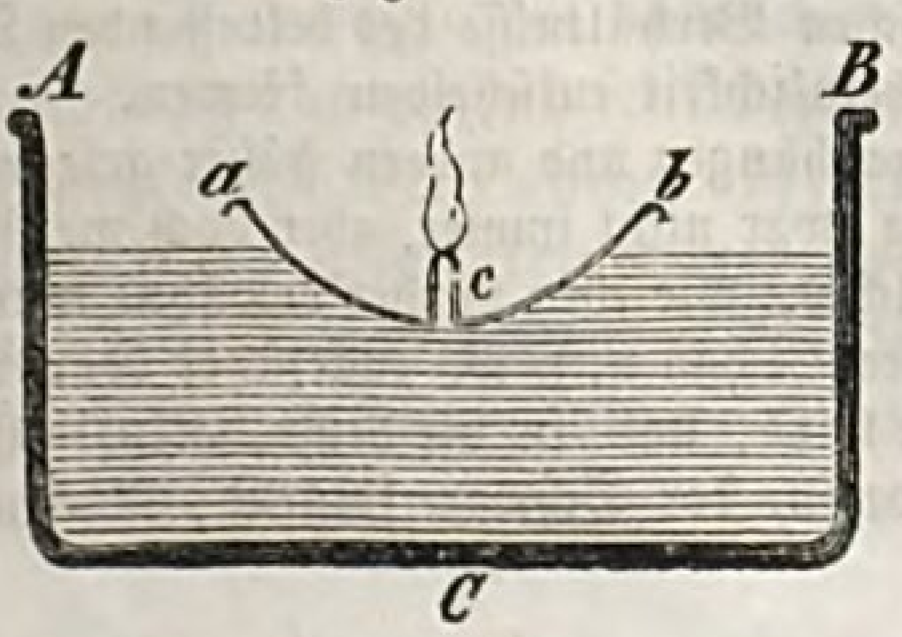
3. Bei den gewöhnlichen Oellampen wird das Oel in allen mit dem Oelbehälter A (Fig. 146) durch Röhren a communicirenden Brennern b, b . . . stets bei der nämlichen Höhe erhalten, wenn auf eine Weise, die sich erst später verständlich machen läßt, dafür gesorgt ist, daß auch in dem, den Oelbehälter A einschließende Gefäße B immer das Oel in der nämlichen Höhe, wie in b, b . . . steht.

Fig. 146.



4. Die Nachtlampen ohne Docht, die aus einem durch Fig. 147 in halber natürlicher Größe dargestellten Schälchen ab von Metall oder Glas bestehen, in deren Mitte ein durch den Boden gehendes, beiderseits offenes Röhrchen c (meistens von Glas) festgemacht ist. Ist das Gewicht des Schälchens und die Länge des Röhrchens von der Art, daß das Schäl-

Fig. 147.

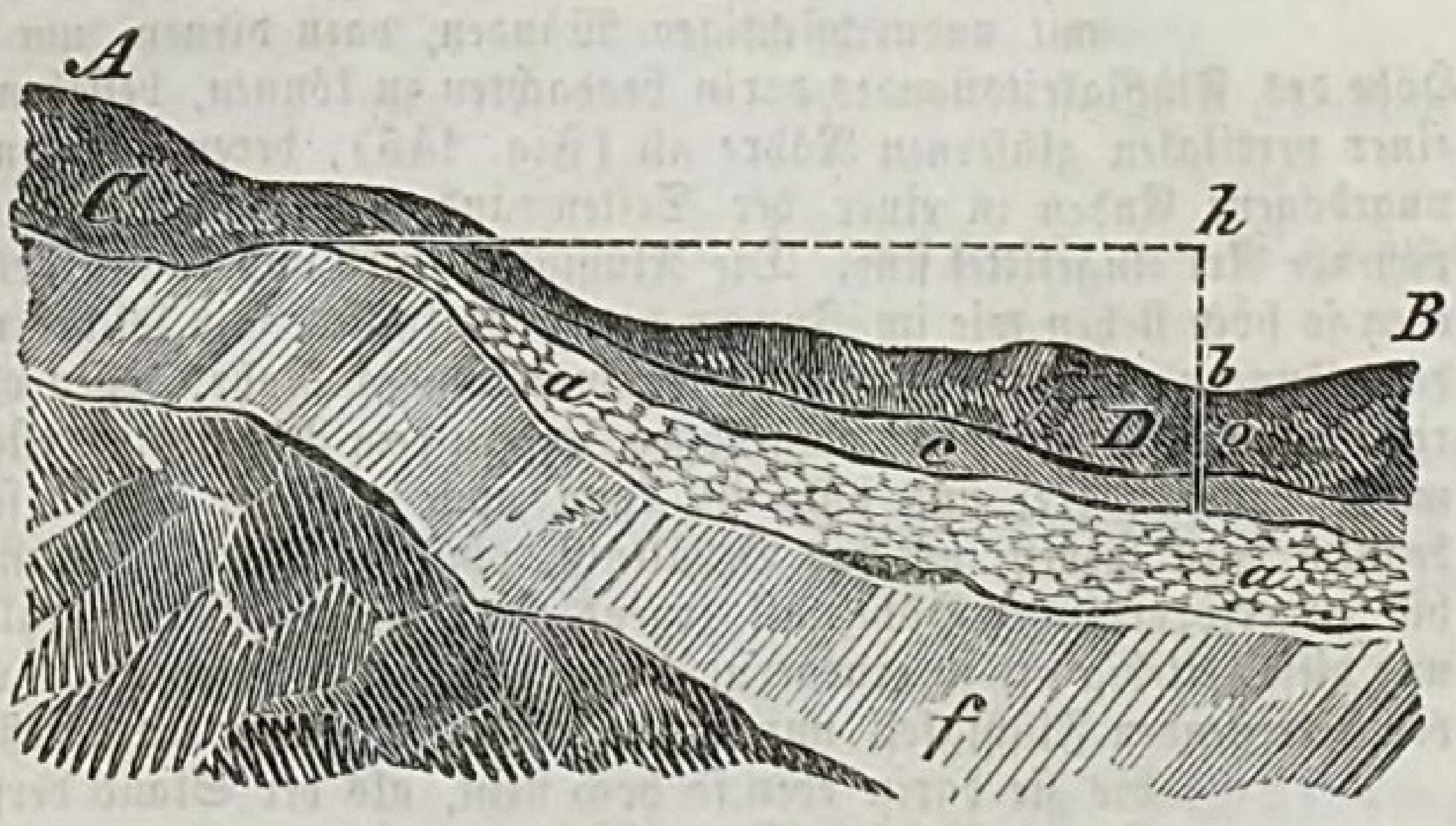


chen, auf die Oberfläche des Brennöls gebracht, in diesem etwas tiefer einsinkt als das Röhrchen c hoch ist, so sucht das Oel in diesem Röhrchen, welches mit dem Gefäße ABC ein Communicationsgefäß bildet, bis zur Höhe der Oberfläche in AB emporzusteigen und kömmt so an der Spitze von c als Tropfen zum Vorschein, der sich leicht anzünden läßt und in dem Maße, als er verbrennt, immer durch nachsteigendes Oel ersetzt wird.

5. Die Keller nahe an Flüssen gelegener Häuser füllen sich mehr oder weniger mit Wasser, wenn der Stand dieses letzteren im Flusse (längere Zeit) höher als der Boden des Kellers ist. Das Wasser dringt nämlich durch die Risse und Zwischenräume des Erdreichs, durch welche Flußbett und Keller communiciren, bis zu letzterem, und stellt sich darin zu gleicher Höhe mit der Wasseroberfläche in ersterem. Ganz auf die nämliche Weise erklärt sich das Steigen und Sinken jedes andern Grundwassers — (d. i. des Wassers, welches im Innern der Erde durch deren Poren, Risse oder andere, mitunter durch das Wasser selbst gebildete, unterirdische Kanäle mit größern Gewässern [Flüssen, Seen, Meeren] in Communication steht und auf welches man bei Anlegung gewöhnlicher Brunnen, bei Gründungen von Bauwerken, Abteufen von Schachten u. s. w. stößt), — so wie die Höhe dieser größeren Gewässer zu- und abnimmt.

6. Das Steigen des Wassers in den sogenannten artesischen oder Bohrbrunnen, welche da angelegt werden, wo man beim Graben selbst bis zu bedeutender Tiefe deswegen noch kein Wasser findet, weil die porösen Schichten und Gesteine das Wasser der Oberfläche der Erde in größere Tiefen einsickern lassen. Man bohrt nämlich daselbst mittelst passender Bohrer und anderer Mechanismen mehrere hundert, ja tausend Fuß senkrecht in die Erde und trifft dann endlich oft auf Wasser, welches in dem Bohrloche entweder so hoch steigt, daß es durch passende Schöpfwerke ganz zu Tage gefördert werden kann, oder, was meistens der Fall ist, von selbst oben aus dem Bohrloche hervorquillt, nicht selten auch wie bei einem Springbrunnen weit über die Mündung des Bohrloches in die Höhe springt und dann ununterbrochen in mehr oder weniger ergiebigem, nie versiegendem Wasserstrahle fortfließt. Um eine Vorstellung von dem Wesen und den Bedingungen eines artesischen Brunnens zu bekommen, denke man sich, das Wasser, welches der Erdoberfläche, wovon AB (Fig. 148) einen Theil vorstellt, als Regen, Schnee, Thau u. s. w. zugeführt wird, sickere durch die oberen Schichtungen

Fig. 148.



CD u. s. w. in die Tiefe und gelange in eine poröse, aus Sand, sandigen Felsarten u. dgl. gebildete Schichte a, a, welche oben und unten von für das Wasser undurchdringlichen Thon- und Mergellagern oder Gesteinschichten c, f eingeschlossen ist; so sammelt es sich in den tiefern Partien dieser Schichte a, welche die wasserführende genannt wird und gewöhnlich ausgedehnte, ziemlich regelmäßige Becken bildet, in großer Menge an, vorausgesetzt, daß es auch an den Seiten nur in, im Verhältniß zum Zuflusse, geringer Menge und langsam (etwa ins Meer) abfließen kann. Wird nun z. B. an dem Orte b der Erdoberfläche ein senkrechtes Bohrloch durch das Erdreich o und die obere Thon- oder Steinlage c bis in die wasserführende Schichte eingetrieben, so bildet dieses einen mit dem Wasserbehältnisse a, a communicirenden Arm, in welchem das Wasser zu der nämlichen Höhe h, zu welcher es in der Schichte a reicht, emporzusteigen sucht, mithin in unserm Beispiele, aus dem Bohrloche hervorspringen muß. Man sieht aus dieser Betrachtung, daß sich artesische Brunnen nicht an allen Orten auf der Erde, sondern nur an jenen zu Stande bringen lassen, unter welchen sich eine der beschriebenen Schichte a ähnliche wasserführende Schichte befindet, worüber noch vor Anstellung wirklicher Bohrversuche oft schon die geognostischen Verhältnisse des betreffenden Ortes und seiner Umgebung mit mehr oder weniger Wahrscheinlichkeit entscheiden können.

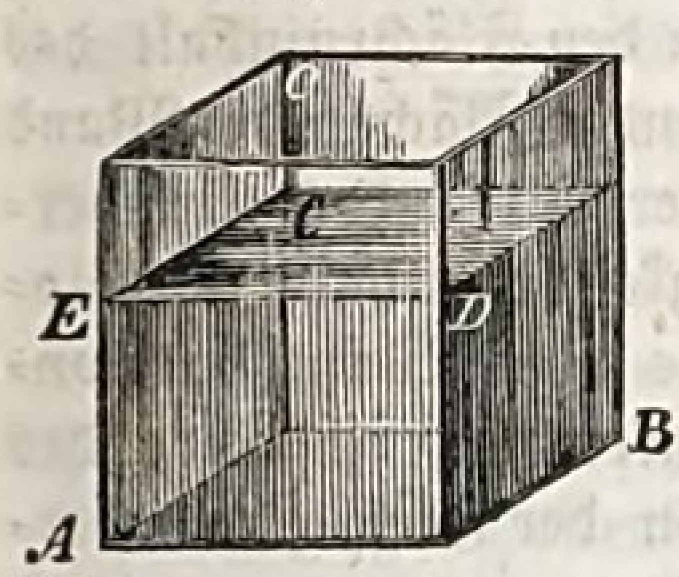
7. Quellen, die häufig, selbst auf Bergen, Bergabhängen und andern höher gelegenen Punkten der Erde, entspringen, verdanken ihre Entstehung zwar nicht immer, aber doch meistens dem unter (70) nachgewiesenen Gesetze. Das Wasser, welches, wie eben vorher erwähnt wurde, der Erdoberfläche aus der Atmosphäre als Regen, Schnee, Thau u. s. w. zugeführt oder von der porösen Erdoberfläche aus der feuchten Luft eingesogen wird, und in die Risse, Klüftungen und andere Zwischenräume in der Erde eindringt, fließt darin, der Schwere folgend, nach ab-

wärts fort, bis es daran durch einen unüberwindlichen Widerstand (z. B. für dasselbe undurchdringliche Steinmassen) gehindert wird, wo es dann seinen Weg in horizontaler Richtung und dem hydrostatischen Satze (70) zu Folge auch nach aufwärts fortsetzt (letzteres natürlich nur so weit, als der zweite von der Erdoberfläche kommende Arm dieser Wasserader emporreicht) und endlich an Stellen zu Tage kömmt, wo es das Erdreich durchdringen kann.

8. Auf demselben schon oft angezogenen hydrostatischen Satze beruht auch die Möglichkeit, die einzelnen Theile einer Wasserleitung verschieden auf- und absteigen zu lassen, wenn nur dabei kein Theil die Höhe überschreitet, von welcher aus das Wasser weiter geleitet wird u. s. w.

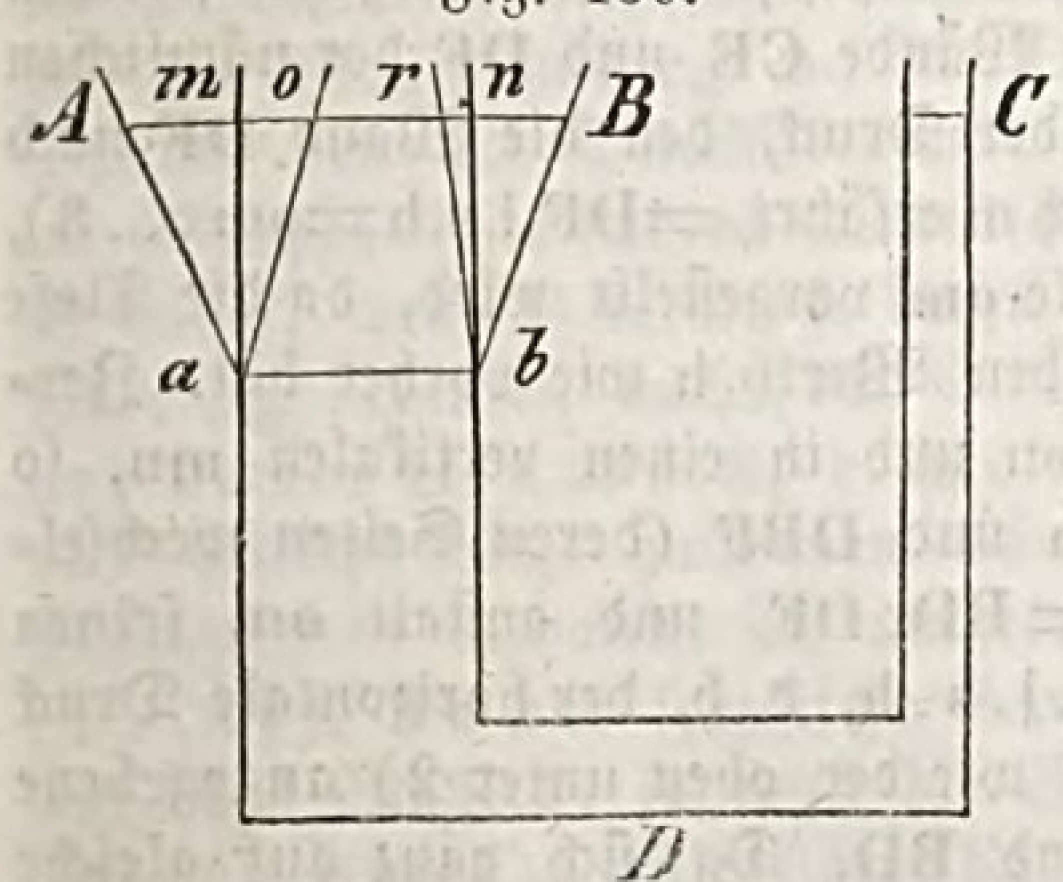
107. Größe des Druckes einer tropfbaren Flüssigkeit auf den Boden des sie enthaltenden Gefäßes. Ist das Gefäß ein gerades prismatisches oder cylindrisches, so daß es einen ebenen horizontalen Boden **AB** (Fig. 149) und vertikale Wände **AC**, **BC** u. s. w. hat, so drückt jedes Flüssigkeitstheilchen mit seinem ganzen Gewichte auf den Boden; die oberste Flüssigkeitsschichte überträgt ihr ganzes Gewicht auf die zunächst darunter liegende gleichgroße Schichte, diese drückt wieder mit dem empfangenen und ihrem eigenen Gewichte auf die unter ihr befindliche Schichte, und so geht dies durch die Flüssigkeitsmasse bis zum Boden **AB** hinab fort, welcher daher einen dem Gewichte dieser Masse gleichen Druck erfährt. Dieses Gewicht, welches mit **P** bezeichnet werden mag, wird aber gefunden, indem man das Volum der Flüssigkeitsmasse (welche natürlich so wie das Gefäß ebenfalls g e r a d e prismatisch oder cylindrisch ist) d. i. das Produkt aus der Grundfläche **AB** in die Höhe **AE** der Flüssigkeitsmasse mit dem Gewichte der Volumeinheit d. h. dem spezifischen Gewicht (**16**) der Flüssigkeit multiplizirt, so daß, wenn **S** dieses spezifische Gewicht bezeichnet, $P = AB . AE . S$ ist. Man findet also den Druck einer tropfbaren Flüssigkeit auf den Boden eines geraden prismatischen oder cylindrischen Gefäßes, wenn man den Flächeninhalt des Bodens mit der Höhe der Flüssigkeit in dem Gefäße und mit ihrem spezifischen Gewichte multiplizirt . . . (71)

Fig. 149.



Dieser Satz gilt aber nicht blos für gerade prismatische und cylindrische, sondern für alle mit ebenem und horizontalem Boden versehene Gefäße, die Seitenwände können wie immer beschaffen, eben oder gekrümmt, vertikal oder schief u. s. w. sein, wie aus folgender Betrachtung erhellt. Sei **ABDC** (Fig. 150) ein mit beliebig gestalteten Armen versehenes, bis **AB** und **C** eine Flüssigkeit enthaltendes Communicationsgefäß (im vertikalen Durchschnitt). Man betrachte in dem einen Arm **AB** irgend eine horizontale Flüssigkeitsschichte, z. B. die mit der Linie **ab** bezeichnete, so erfährt diese von dem über ihr befindlichen Flüssigkeitskörper **abAB** einen gewissen Druck, den wir **p** nennen wollen, und welcher macht, daß die Flüssigkeit unter **ab** in Ruhe bleibt und in dem Arm **A** nicht bis zu gleicher Höhe der Flüssigkeit im zweiten Arm **C** des Communicationsgefäßes emporsteigt.

Fig. 150.



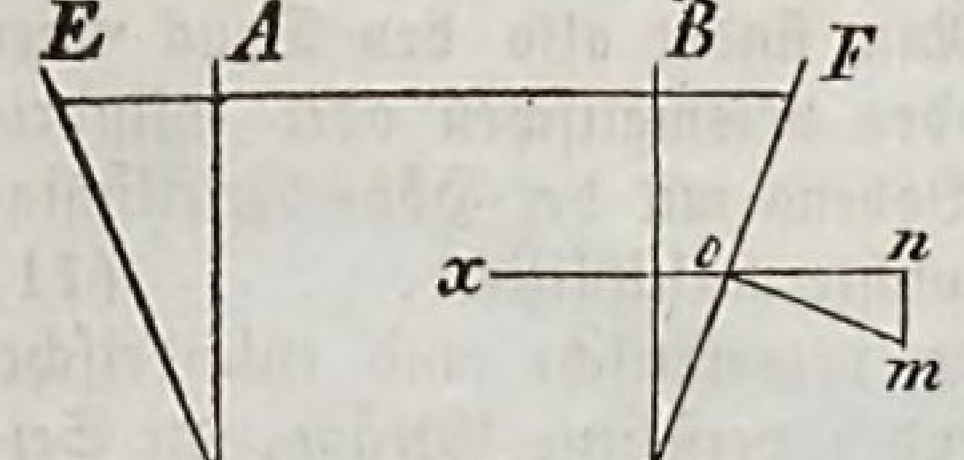
Wären bei dem nämlichen Stand der Oberfläche **ABC** die Wände **aA** und **bB** geradlinig und auf **ab** senkrecht, wie **am** und **bn**, so würde gemäß (70) der Druck des Flüssigkeitskörpers **abmn** auf die Fläche **ab** gerade dasselbe, wie der Druck **p** leisten, nämlich die Flüssigkeit unter **ab** im Gleichgewichte erhalten müssen; er muß daher auch dem Drucke **p** ganz gleich sein, dieser muß demnach ganz so wie nach (71) der Druck des Flüssigkeitskörpers **abmn** auf **ab**, nämlich durch das Produkt aus der Bodenfläche **ab** in die Höhe **am** der Flüssigkeit und in das spezifisches Gewicht der-

selben ausgedrückt werden können. Da ganz aus den nämlichen Gründen der Druck auf ab, wenn die Wände wie ao und br nach oben zu convergiren, dem bei den vertikalen Wänden am und bn stattfindenden gleich sein muß, so leuchtet ein, daß obiger Satz (71) wirklich für alle Gefäße mit ebenem und horizontalem Boden gelte und daß somit der Druck einer trofbaren Flüssigkeit auf einen solchen Boden unabhängig von der Menge der im Gefäße enthaltenen Flüssigkeit sei, und sich nur nach der Bodenfläche des Gefäßes, ferner nach der Höhe und dem spezifischen Gewichte der Flüssigkeit richte und dem Produkte aus diesen drei Größen gleich sei . . . . (72)

Die Größe des Druckes, den eine tropfbare Flüssigkeit auf eine nicht horizontale ebene Fläche, z. B. auf eine Seitenwand des Gefäßes, worin sie sich befindet, und zwar nach einer auf diese Fläche senkrechten Richtung ausübt, wird, wie die Rechnung lehrt, in allen Fällen bestimmt, indem man den Flächeninhalt des mit der Flüssigkeit in Berührung stehenden Stückes der betreffenden Fläche oder Wand mit dem spezifischen Gewichte der Flüssigkeit und mit der Tiefe des Schwerpunktes dieses Flächen- oder Wandstückes unter der Flüssigkeitsoberfläche multiplizirt, also gerade so verfährt, als wäre die gedrückte Fläche oder Wand horizontal und die Höhe der drückenden Flüssigkeitssäule dem senkrechten Abstande des Schwerpunktes des besagten Flächen- oder Wandstückes von der Flüssigkeitsoberfläche gleich . . . . (73)

Sei **ACDB** (Fig. 151) der Durchschnitt eines prismatischen bis **AB** mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes, die Seitenwände **AC** und **BD** seien vertikal, gleich breit und auch gleich hoch, so haben sie gleiche Flächeninhalte und ihre Schwerpunkte (eigentlich geometrische Mittelpunkte) liegen nothwendig in gleicher Tiefe unter **AB**; beide Seitenwände erfahren daher nach (73) in auf sie senkrechter, mithin horizontaler Richtung einen ganz gleichen Druck . . . 1) und zwar ist der Druck, z. B. auf die Wand **BD** = **BD**.l.s.h . . . 2), wenn l die horizontale Länge dieser Wand, h die Tiefe ihres Schwerpunktes und s das spezifische Gewicht der Flüssigkeit bedeutet.

Fig. 151.

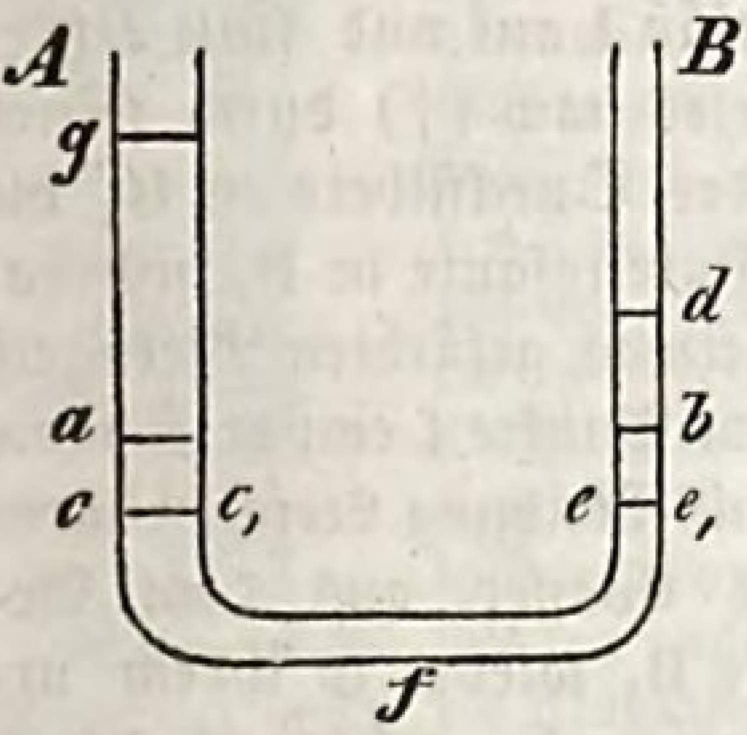


Hätte das Gefäß, unter übrigens gleichen Umständen, die schiefen und rechteckigen, ebenen Wände **CE** und **DF** der nämlichen Länge l wie **CA** und **BD**, so wäre nach (73) der Druck, den die Wand **DF** nach einer auf ihr senkrechten Richtung, z. B. von o nach m erfährt, =**DF**.l.s.h=om . . . 3), wenn die Größe dieses Druckes durch die Linie om vorgestellt wird, da die Tiefe des geometrischen Mittelpunktes offenbar denselben Werth h wie vorher hat. Zerlegt man den Druck om in einen horizontalen on und in einen vertikalen mn, so hat man wegen Aehnlichkeit der Dreiecke omn und **DBF** (deren Seiten wechselweise auf einander senkrecht stehen) on : om = **BD** : **DF**, und anstatt om seinen Werth aus 3), gesetzt, so erhält man on = **BD**.l.s.h, d. h. der horizontale Druck auf die schiefe Seitenwand **DF** ist eben so groß, wie der oben unter 2) angegebene horizontale Druck auf die vertikale Seitenwand **BD**. Da sich ganz auf gleiche Weise zeigen läßt, daß auch die schiefe und die vertikale Wand **CE** und **CA** einen gleichen horizontalen Druck erleiden, woraus dann [nach 1)] folgt, daß auch die horizontalen Drücke, welche die Flüssigkeit auf die Wände **CE** und **DF** übt, gleich sind, sich somit, da sie zugleich entgegengesetzte Richtungen haben, aufheben; da ferner dieser Satz von der Gleichheit und Aufhebung der horizontalen Druckkräfte für alle einander horizontal gegenüberliegende, correspondirende Theile (Elemente) der Seitenwände bei jeder Form des Gefäßes gilt, so kann dieses letztere, wenn es auch noch so leicht beweglich (z. B. umzuwerfen) wäre, keine Anregung zu einer

horizontalen Bewegung (oder zum Umfallen) nach einer oder der andern Seite hin erhalten. Wird aber in der einen Seitenwand eine Oeffnung angebracht, aus welcher die Flüssigkeit ausströmen kann, so fällt auf dieser Seitenwand der horizontale Druck auf ein Flächenstück von der Größe der besagten Oeffnung weg, während der entgegengesetzte und gleiche Druck auf das correspondirende Flächenstück der gegenüber befindlichen Seitenwand fortbesteht, so daß jetzt diese Seitenwand (ohne Oeffnung) einen größern Druck erleidet, als die andere, mithin das Gefäß eine Anregung erfährt, sich nach einer, der Richtung der ausströmenden Flüssigkeit entgegengesetzten, horizontalen Richtung fortzubewegen. Man nennt diese Anregung zur Bewegung Reaction der ausströmenden Flüssigkeit und sagt, wenn das Gefäß dieser Anregung folgen und sich in Bewegung setzen kann, es werde durch die Reaction der Flüssigkeit bewegt. (Wir werden später noch einmal auf diese Reaction zurückkommen.) . . . . (74)

108. Anwendungen des Bodendruckes tropfbarer Flüssigkeiten. Wir wollen den in vielen Beziehungen (die gleich nachher näher erörtert werden sollen) wichtigen Satz (72) zunächst dazu anwenden, um zu zeigen, daß wenn in ein Communicationsgefäß zwei ungleichartige, sich nicht mischende (nicht chemisch verbindende) Flüssigkeiten gebracht werden, die Höhen der einander das Gleichgewicht haltenden Säulen dieser Flüssigkeiten im umgekehrten Verhältnisse mit den spezifischen Gewichten dieser letzteren stehen. Gießt man in das Communicationsgefäß **AfB** (Fig. 152) zuerst eine Flüssigkeit vom spezifischen Gewichte **S**, etwa Quecksilber, so daß es bis **a** und **b** reicht, hierauf in einen der Arme, z. B. in **A** eine andere, mit dem Quecksilber sich nicht mischende Flüssigkeit vom spezifischen Gewichte **s**, etwa Wasser, so wird das Quecksilber zu Folge des Druckes, den das z. B. bis **g** eingegossene Wasser auf seine Oberfläche **a** ausübt, von **a** z. B. bis cc_1 zurückweichen, mithin im Arme **B** etwa bis **d** steigen. Ist ee_1 eine mit cc_1 in die nämliche Horizontalebene fallende Linie, so steht nach (70 auf S. 167) die Quecksilbermasse cfe_1 für sich im Gleichgewichte und es muß daher für den vorausgesetzten Fall, daß die ganze im Communicationsgefäße enthaltene Flüssigkeit sich in Ruhe befinde, der Druck, den die Wassersäule **cg** auf die Quecksilberoberfläche cc_1 ausübt, gleich sein dem Drucke, den die Quecksilbersäule e_1d in Folge Fortpflanzung durch die für sich im Gleichgewichte stehende Quecksilbermasse e_1fc auf dieselbe Fläche cc_1 bewirkt. Es ist daher, wenn **H** die Höhe der Quecksilbersäule e_1d und **h** die Höhe der Wassersäule **cg** bedeutet, nach (71) S. 169), $cc_1 . h . s = cc_1 . H . S$ oder $h . s = H . S$ und daraus $H : h = s : S$, d. h. die Höhen der in einem Communicationsgefäße sich das Gleichgewicht haltenden Säulen zweier verschiedener, sich nicht mischender Flüssigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die spezifischen Gewichte dieser letzteren . . . . (†). Da das spezifische Gewicht des Quecksilbers nahe 14mal größer ist als jenes des Wassers, so muß die Wassersäule, welche in einem Communicationsgefäße mit einer Quecksilbersäule bestimmter Höhe im Gleichgewichte stehen soll, 14mal höher sein als diese. Aus dem Gesagten leuchtet schon ein, daß man ein Communicationsgefäß mit durchsichtigen Armen (z. B. eine beiderseits aufwärts gebogene Glasröhre) zur Ermittlung des Verhältnisses der spezifischen Gewichte verschiedener sich nicht mischender Flüssigkeiten anwenden kann. Wir werden auf diese Anwendung später wieder zurückkommen und dann zugleich zeigen, wie sich mittelst eines Communicationsgefäßes das Verhältniß der spezifischen Gewichte auch von Flüssigkeiten bestimmen lasse, die sich mit einander mischen.

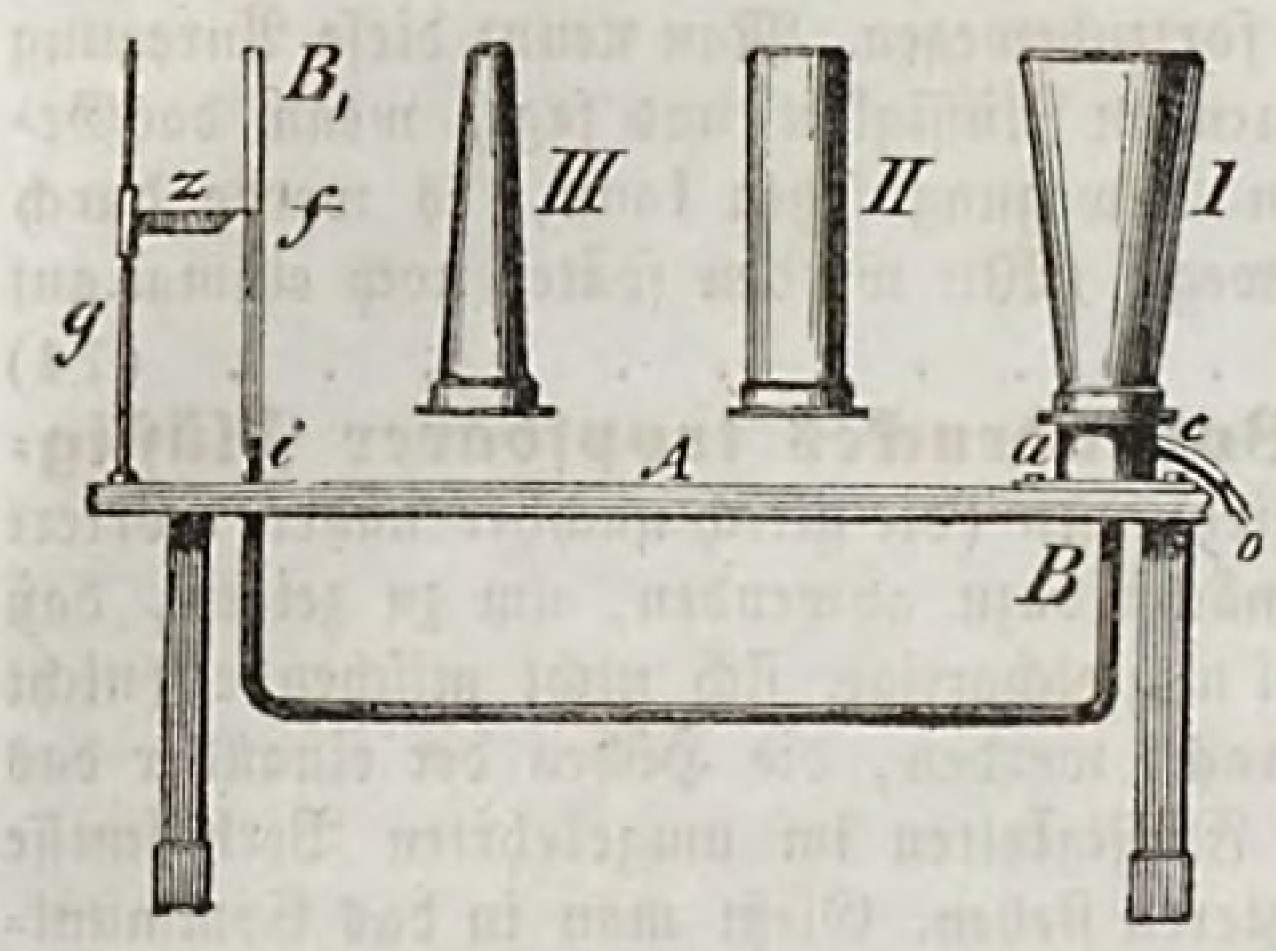
Fig. 152.



Man kann sich von der Richtigkeit des vorher durch Schlüsse erwiesenen Sa-

tzes, daß die Größe des durch eine tropfbare Flüssigkeit bewirkten Bodendruckes unabhängig von der Flüssigkeitsmenge sei, auch auf dem Versuchswege überzeugen und zwar am leichtesten mittelst des folgenden, von Haldat herrührenden Apparates. a (Fig. 153) ist ein cylindrisches, zur Aufnahme von Quecksilber bestimmtes und am besten aus Eisen oder Packfong (welche Metalle von Quecksilber nicht angegriffen werden) bestehendes Gefäß. Dasselbe ist auf dem hölzernen Gestelle **A** festgeschraubt, hat im Boden das eine Ende der beiderseits aufgebogenen Glasröhre BB_1 flüssigkeitsdicht eingekittet, ferner etwa in der Hälfte seiner Höhe eine Seitenröhre c, die mittelst eines eingeschliffenen Pfropfes o (oder eines Hahnes mit weiter Bohrung) verschlossen werden kann, und endlich am obern Ende ein Schraubengewinde, auf welches sich die in der Figur mit **I**, **II**, **III** bezeichneten, gleich hohen, aber ungleich weiten und verschieden gestalteten Gefäße wasserdicht aufschrauben lassen. Gießt man in das Gefäß a so lange Quecksilber ein, bis dieses gerade an die Einmündung des Seitenrohres c und mithin in der Glasröhre B_1 zu gleicher Höhe reicht, schraubt dann das Gefäß **I** auf und füllt letzteres nachher bis oben an mit Wasser voll, so macht dieses nach (†) durch seinen Druck auf die Quecksilberoberfläche in **a** die Oberfläche des Quecksilbers in B_1 bis zu einem bestimmten Punkt i, oder wenn man, um die Flüssigkeitssäule in B_1 sichtbarer zu machen, vorher auf die Quecksilberoberfläche in B_1 etwas gefärbten Weingeist gebracht hat, die Oberfläche des letzteren z. B. bis zum Punkte f empor steigen. Markirt man diesen Punkt mittelst des an dem Stabe g mit Reibung verschiebbaren Zeigers z, zieht hierauf den Pfropf o, so daß alles Wasser aus dem Gefäße **I** ausfließt und die Weingeistoberfläche in der Röhre B_1 wieder zu ihrem ursprünglichen Stand herabsinkt, schraubt dann dieses Gefäß ab, ersetzt es durch das gleich hohe Gefäß **II** oder **III** und füllt dieses wieder bis oben an mit Wasser voll, so erhebt sich der Weingeist in B_1 immer genau wieder bis f, zum Beweis, daß die Wassermengen, — welche die Gefäße **I**, **II**, **III** erfüllen und sehr ungleich groß, aber gleich hoch sind und stets auf die nämliche Basis, d. i. auf die Quecksilberoberfläche in a drücken, — auf diese Basis einen ganz gleichen Druck ausüben, daß somit der Druck, den eine Flüssigkeitssäule auf die Unterlage bewirkt, bei gleicher Basis und Höhe völlig unabhängig von ihrer Menge sei.

Fig. 153.



Aus dem Satze (72) auf S. 170 folgt, daß man durch eine bestimmte tropfbare Flüssigkeit, z. B. Wasser auf den ebenen und horizontalen Boden eines Gefäßes oder eine andere gleichsam die Stelle eines solchen Bodens vertretende Unterlage einen desto größeren Druck üben könne, eine je größere Fläche man der Unterlage gibt und je höher man die drückende Wassersäule macht, wenn diese einen auch noch so kleinen Querschnitt hat. Man kann demnach selbst durch sehr geringe Wassermengen auf eine Fläche einen beträchtlichen Druck erzielen, indem man, wie in dem Gefäße **Aacbd** (Fig. 154), auf eine mit der betreffenden Fläche (**acbd**) überall in Berührung stehende, ganz niedrige Wasserschichte von der Höhe **de** eine dünne, aber hohe Wassersäule (**AB**) wirken läßt. — Hierauf gründet sich die Wirkung der Real'schen

Fig. 154.



Presse und die Anwendung des Druckes einer Wassersäule als bewegende Kraft bei der Wassersäulenmaschine und den horizontalen Wasserrädern.

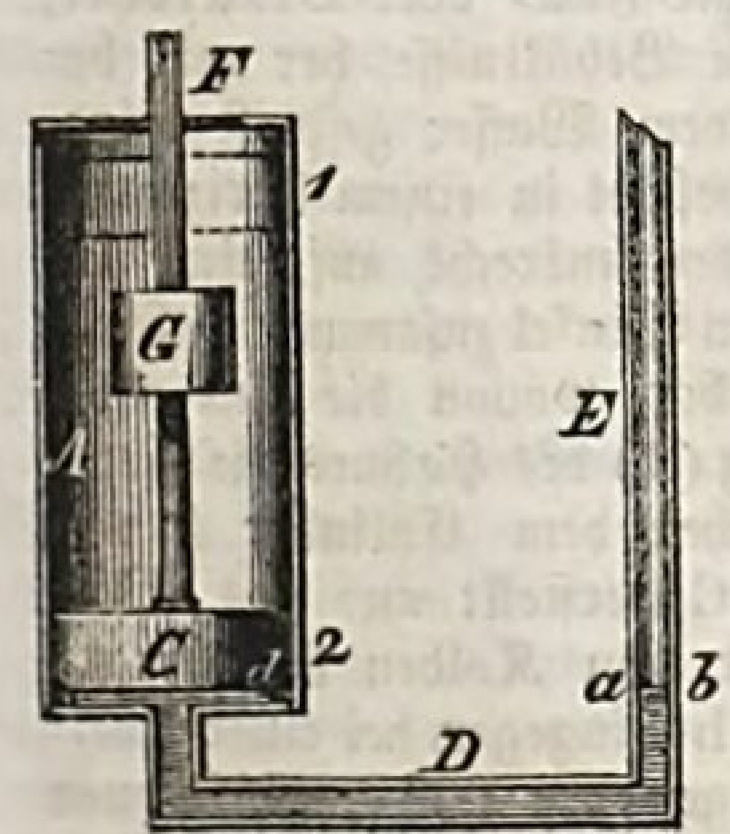
1. Die Real'sche Presse, ein von Grafen Real erdachter Apparat, der häufig und recht vortheilhaft angewendet wird, um aus Substanzen, die in Wasser, Weingeist oder einer andern passenden Flüssigkeit löslichen Bestandtheile auszuziehen, sogenannte Extracte zu bereiten, ist durch Fig. 155 im vertikalen Durchschnitte dargestellt. ab ist ein (etwa 3″ weiter und 9″ hoher) Cylinder, am besten aus Glas oder Zinn (weil diese Materialien von den beim Extrahiren gewöhnlich in Anwendung kommenden Flüssigkeiten nicht angegriffen werden), der unten eine siebartig durchlöcherte, auf dem angeschraubten, trichterförmigen Theile cd aufliegende Platte c enthält und oben mit einem aufschraubbaren Deckel f versehen ist, von dem eine etwa $1/2$ Zoll weite, 1 bis 2 Klafter und darüber lange, oben sich trichterförmig erweiternde Röhre r (von Zinn, gut verzinntem Eisenblech oder Glas) ausgeht. Die Röhre r und häufig auch der Untertheil cd sind mit Sperrhähnen 1, 2 versehen. Dieser Untertheil und der Deckel f können, anstatt daß sie sich aufschrauben lassen, an dem Cylinder ab auch auf jede andere, einen flüssigkeitsdichten Schluß gewährende Art festgemacht sein. Um mittelst dieser Presse ein Extract zu bereiten, bringt man die betreffende Substanz, gepulvert und etwas angefeuchtet, auf das Sieb c, welches zuvor mit einigen Lagen reinen Fließpapiers (Filtrirpapiers) bedeckt worden, damit die Pulvertheile seine Löcher nicht verstopfen können, drückt eine jede eingebrachte Portion auf dem Siebe ziemlich stark zusammen, legt endlich oben auf die eingedrückte Masse, damit sie von der Flüssigkeit, die man nachher auf sie einwirken läßt, nicht aufgewühlt werde, ein dem Siebe c ähnliches, im Cylinder leicht auf und ab bewegliches Sieb, bringt zu allem Ueberfluß unter dieses wieder eine Lage Filtrirpapier, füllt jetzt den übrigen Raum des Cylinders mit der betreffenden Flüssigkeit voll, setzt nachher den Deckel mit der Röhre a auf, schließt den Hahn 1, füllt nun auch diese Röhre mit derselben Flüssigkeit bis zur beabsichtigten Höhe voll und öffnet dann den Hahn 1, damit der Druck der Flüssigkeit auf die gepulverte Substanz und die Extraction bebeginne. Das bei d tropfenweise hervorquillende Extract wird in einem unter cd passend angebrachten Gefäße aufgefangen. Durch den in der Real'schen Presse stattfindenden Druck der über der gepulverten Substanz stehenden Flüssigkeitssäule wird die Flüssigkeit mit so vielen Theilen dieser Substanz und diese nach und nach mit so viel Flüssigkeit in Berührung gebracht, daß sich diese mit den auflöslichen Bestandtheilen der gepulverten Substanz sättigt und diese Substanz durch die Flüssigkeit nach und nach ganz erschöpft wird, so wie dies sonst nur durch Wärme (durch Auskochen oder Aufbrühen der Substanz und nachheriges Abdampfen des Absudes oder Aufgusses) erzielt werden kann, was jedoch, da die Wärme viele Substanzen verändert, in manchen Fällen gar nicht oder mit weniger Vortheil thunlich ist.

Fig. 155.



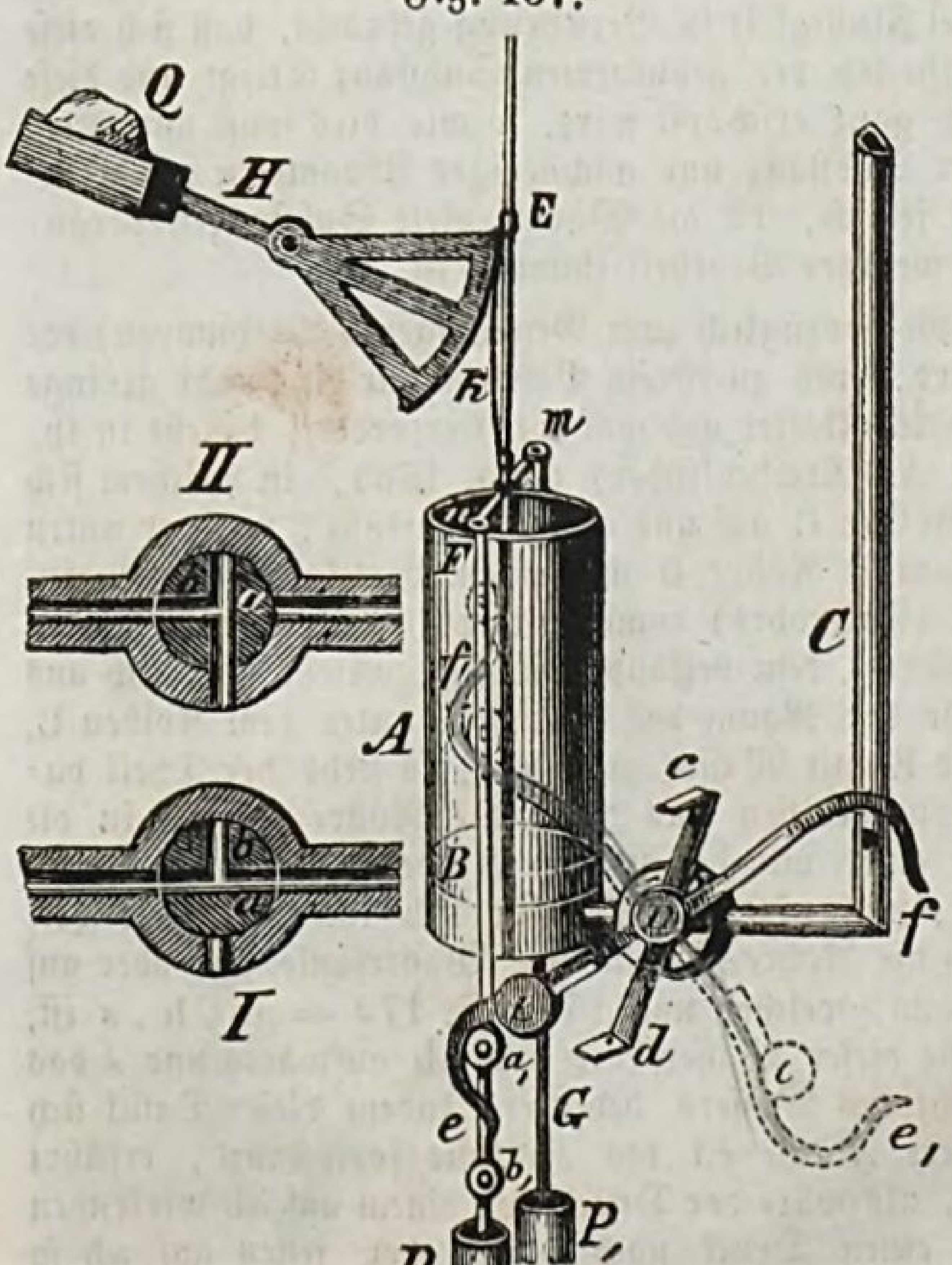
2. Die Wassersäulenmaschine, die vorzüglich zum Gewältigen (Auspumpen) der Grubenwässer in Bergwerken angewendet wird, und zu ihrem Betriebe nur eine sehr geringe Wassermenge, aber ein großes Gefälle (10 bis 20 Klafter und darüber) erfordert, besteht in ihrer Wesenheit aus einem vertikalen Cylinder A (Treibcylinder) (Fig. 156), in welchem sich wasserdicht ein Kolben C auf und ab bewegen läßt, und der unten durch eine horizontale Röhre D mit einem vertikal aufsteigenden, hohen Rohre E (Fallröhre) communicirt, dessen oberes Ende in ein Behältniß mündet, dem beständig Wasser zufließt. Hat sich aus diesem Behältnisse der Raum des Cylinders unter dem Kolben C, die Röhre D und E mit Wasser angefüllt, so steht der Theil davon, welcher vom Kolben aus durch die Röhre D und in die Röhre E bis zu einer mit der untern Kolbenfläche gleich hohen Ebene ab reicht, nach (70 S. 167) für sich im Gleichgewichte. Die oberhalb ab die Röhre E erfüllende Wassersäule übt aber auf ab einen Druck aus, welcher nach (72) S. 170 = ab . h . s ist, wenn h die Höhe dieser Wassersäule von ab aufwärts und s das spezifische Gewicht des Wassers bedeutet. Indem dieser Druck sich bis auf die untere Fläche cd des Kolbens fortpflanzt, erfährt dieser gerade so, als wäre der Druck von einem auf ab wirkenden Stempel (man sehe **104**) ausgegangen, einen Druck nach oben, der jenen auf ab so oftmals übertrifft, als die Fläche ab in der untern Kolbenfläche cd enthalten ist. Ist m

Fig. 156.



die Flächeneinheit, somit m . h . s der Druck, den die über ab stehende Wassersäule auf die Flächeneinheit ausübt; so wird der Druck dieser Wassersäule auf die Kolbenfläche cd der Größe nach durch das Product cd . h . s vorgestellt (wenn h und s die vorn angegebene Bedeutung haben und die Fläche cd mit der Einheit m gemessen wurde) und ist demnach so groß, wie das Gewicht eines Wassercylinders, dessen Basis cd und dessen Höhe h ist. Hat der Kolben einen gehörig großen Durchmesser (1 bis 2 Fuß) und ist die Höhe h der drückenden Wassersäule groß genug (10 Klafter und darüber), so erfährt der Kolben einen solchen Druck nach aufwärts, daß er, selbst wenn man ihn stark belastet, im Cylinder noch mit beträchtlicher Kraft in die Höhe steigt. Gesetzt, der Kolben sei wirklich durch z. B. an seiner Kolbenstange F angebrachte Gewichte G belastet, er sei ferner bei seiner Bewegung nach aufwärts am oberen Ende des Treibcylinders in der punktirten Stellung 1 angekommen, es werde nun mittelst einer eigenen, an der Maschine vorhandenen Vorrichtung, welche die Steuerung heißt und gleich nachher näher besprochen werden wird, der Wasserzufluß aus der Röhre D in den Cylinder plötzlich abgesperrt und gleichzeitig das unter dem Kolben im Cylinder befindliche Wasser aus diesem abfließen gelassen; so sinkt der Kolben in Folge seines eigenen und des an ihm angebrachten Gewichtes G in die ihm mögliche unterste Stellung 2 zurück. Wird jetzt dem Wasser aus D wieder der Eintritt in den Cylinder gestattet, so steigt der Kolben von neuem in die Stellung 1, sinkt aus dieser abermals in die Stellung 2 herab, sobald mittelst der Steuerung das Wasser aus D und E (welches das Aufschlagwasser heißt) wieder abgesperrt und das im Cylinder befindliche aus demselben abfließen gemacht wird. So kann durch das fortgesetzte, abwechselnd den Zufluß des Aufschlagwassers in den Cylinder herstellende und absperrende Spiel der Steuerung der Kolben fortwährend im Cylinder auf- und absteigen gemacht und die Kraft, womit er dies thut, zum Betriebe von Pumpen oder andern Maschinen, auf welche sie durch die Kolbenstange F und meistens noch vermittelst anderer, zur Uebertragung bewegender Kräfte dienlicher Mechanismen (Hebel, Gestänge, Krummzapfen u. dgl.) übertragen wird, benützt werden. Die erwähnte Steuerung besteht entweder, wie bei den alten Maschinen, in einem Hahne, der durch die Maschine selbst zu rechter Zeit gedreht (gesteuert) wird, oder aus einem oder mehreren kleinen Kolben (nebst dem zur Bewegung des Hahnes oder der Kolben nöthigen Mechanismus), und heißt im ersteren Falle eine Hahn- und im letzteren eine Kolbensteuerung. Eine Maschine, bei welcher, wie im Vorstehenden angenommen wurde, das Wasser den Treibkolben blos hebt, das Sinken desselben aber seinem Gewichte überläßt, heißt eine Maschine mit einfacher Wirkung. Wird aber der Kolben, sowohl nach auf- als nach abwärts, durch den Druck des Wassers bewegt, indem dieses abwechselnd über und unter den Kolben tritt (wie dies fast bei allen in neuerer Zeit gebauten Wassersäulenmaschinen der Fall ist), so heißt die Maschine eine doppelt wirkende.

Fig. 157.

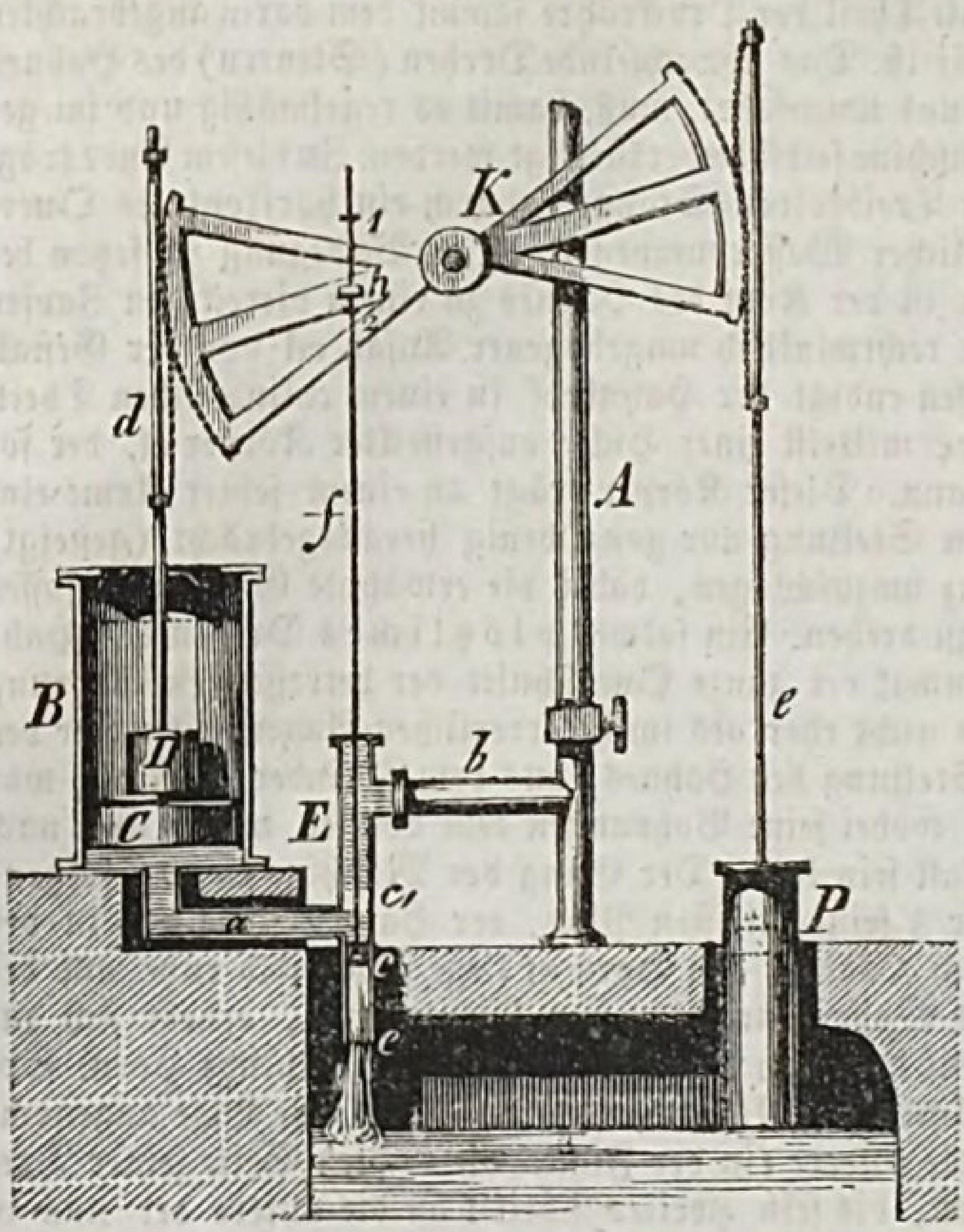


Die Fig. 157 zeigt die wesentlichen Theile einer Wassersäulenmaschine mit einfacher Wirkung und Hahnsteuerung, die lange Zeit zu Schemnitz in Ungarn in Anwendung war. Man findet Maschinen ähnlicher Art noch heut zu Tage in vielen Bergwerken Böhmens, Sachsens, des Harzes u. s. w. A ist der Treibcylinder, B der Treibkolben, C die Fall- oder Druckröhre, welche von einem Behältnisse her mit beständig zufließendem Wasser gespeist wird. Die Steuerung besteht in einem horizontalen Hahne D, der senkrecht auf seine Axe zwei unter rechtem Winkel zusammentreffende Bohrungen a, b hat, wovon die eine a bei gewisser Stellung (1) des Hahnes die Communication zwischen dem Cylinder A und der Druckröhre C herstellt und das Wasser aus C unter dem Kolben B gelangen läßt; die andere b hingegen bei einer zweiten von der vorigen um 90^0 verschiedenen Hahnstellung (2) dem Wasser unter dem Kolben aus der Maschine abzufließen gestattet, während die Communication zwischen A und

C gesperrt ist. Man sieht die beiden Stellungen (1), (2) des Hahnes und seine Bohrungen a, b deutlich in der Figur bei I und II, wo der horizontale Theil der Druckröhre sammt dem darin angebrachten Hahn in vertikalem Durchschnitte dargestellt ist. Das abwechselnde Drehen (Steuern) des Hahnes aus der Stellung (1) in die Stellung (2) und umgekehrt, muß, damit es regelmäßig und im gehörigen Momente vor sich gehe, von der Maschine selbst bewerkstelligt werden. Zu diesem Ende trägt die eine der Stangen F, G, welche mit der Treibkolben-Stange E durch ein horizontales Querstück mn vereinigt und die Kolben gewöhnlicher Wasserpumpen P, P_1 in Bewegung zu setzen bestimmt sind, zwei Rollen a_1, b_1 und ferner ist der Kopf des Hahnes zu einem viereckigen Zapfen gestaltet, auf welchem ein an beiden Enden rechtwinklich umgebogener Ansatz cd von der Gestalt einer Gabel feststeckt, und vor diesem Zapfen endigt der Hahnkopf in einem cylindrischen Theil, auf welchem sich ein hornartig gekrümmter, mittelst einer Hülse aufgesteckter Körper ef, der sogenannte Fallhammer, frei drehen kann. Dieser Körper trägt an einem seiner Arme eine schwere Masse i, damit er aus der vertikalen Stellung nur ganz wenig herausgebracht (geneigt) zu werden braucht, um dann von selbst ganz umzuschlagen, dabei die erwähnte Gabel zu erfassen und so den Hahn mit einem Male um 90° zu drehen. Ein solches plötzliches Drehen des Hahnes ist nöthig, damit dem Wasser auf einmal der ganze Querschnitt der betreffenden Bohrung geöffnet wird und dasselbe dann schnell und nicht eher als im erforderlichen Augenblick unter den Treibkolben dringt oder (bei der zweiten Stellung des Hahnes) aus dem Cylinder ausfließt, was bei allmäliger Drehung des Hahnes, wobei seine Bohrungen dem Wasser immer nur nach und nach ganz geöffnet würden, nicht der Fall sein kann. Der Gang der Maschine ist nun folgender: Gesetzt der Kolben B habe im Cylinder A seinen tiefsten Platz, der Hahn befinde sich in der Stellung wie bei I, so daß das Wasser nach A kann, das Horn ef liege schief und ruhe auf der oberen Rolle a_1 der Stange F. Indem das Wasser nun unter den Kolben tritt, erhebt sich zugleich mit diesem auch die Stange F und mit derselben das auf der Rolle a_1 ruhende Horn. Sobald der Kolben am oberen Ende des Cylinders ankömmt, hat das Horn eine Lage angenommen, bei welcher sein Schwerpunkt auf die andere (in der Figur die rechte) Seite seiner Drehungsaxe fällt; es schlägt daher so weit um, bis sein zweiter Theil f an die untere der nun in die punktirten höheren Stellungen gekommenen Rollen a_1, b_1 zu liegen kömmt (so daß es die in der Figur punktirte Lage e_1 f_1 hat), dabei ergreift es die Gabel cd am Hahne und führt diesen in die bei II anschaulich gemachte Stellung, so daß jetzt, während die Communication zwischen A und C abgesperrt ist, das Wasser aus A abfließen kann. Indem nun der Kolben in Folge seines Gewichtes sinkt, drückt die untere Rolle b_1 den Theil f des Hornes immer weiter hinab und hebt den zweiten Theil e mit der Masse i immer mehr, bis das Horn in dem Moment, wo der Kolben wieder am tiefsten Platz im Cylinder ankömmt, eine Lage erhält, bei welcher sein Schwerpunkt wieder auf die linke Seite seiner Umdrehungsaxe fällt, wo dasselbe dann abermals umschlägt und den Hahn in die Stellung bei I zurückführt, so daß das Wasser aus dem Druckrohre wieder unter den Kolben treten und diesen neuerdings steigen machen kann u. s. w. Der Hebel H (in dieser Form Krümmling genannt), an welchem die Treibkolbenstange E mittelst einer Kette k befestigt ist, dient entweder blos zur Führung dieser Stange in vertikaler Richtung, oder es wird mittelst desselben, wie dies in der folgenden Figur versinnlicht ist, zugleich die Bewegung des Treibkolbens auf den Kolben der das Grubenwasser hebenden Pumpe übertragen, dessen Stange daran in gleicher Weise mittelst einer Kette festgemacht und so eine vertikale Richtung beizubehalten genöthigt ist.

Der beschriebene Steuerungs-Mechanismus hat den Nachtheil, daß der Fallhammer bei jedesmaligem Umschlagen die Maschinerie erschüttert (noch vielmehr ist dies bei jenen ältern Maschinen der Fall, an welchen statt des Hammers ein schwerer, durch Ketten dirigirter Fallklotz vorhanden ist); deswegen hat man ihn verschieden abgeändert und ersetzt ihn bei neueren Maschinen durch die Kolbensteuerung, deren einfachste Einrichtung in Fig. 158 an einer Maschine gleichfalls von einfacher Wirkung anschaulich gemacht wird. A ist das Fallrohr, welches das Aufschlagwasser liefert; B der Treibcylinder; C dessen Kolben; D eine, sein Gewicht vermehrende Masse; E ein kleiner Cylinder, der durch die Röhren a und b einerseits mit dem Treibcylinder und andererseits mit dem Fallrohre A communicirt, und welcher den Steuerungskolben c enthält. P ist die Pumpe zum Heben des Wassers aus der Grube. Die Stangen d und e des Treib- und des Pumpenkolbens sind durch Ketten auf aus der Zeichnung für sich deutliche Weise mit dem Krümmling (Balancier) K verbunden, so daß sie sich immer nach entgegengesetzten und vertikalen Richtungen bewegen müssen. Die Stange f des Steuerungskolbens c verschiebt sich am obern Ende lose in einer am Balancier K angebrachten Hülse h und zwar von den einen der zwei an ihr vorhandenen Widerhalten (Verdickungen) 1, 2 bis zum andern, wodurch die erforderliche rasche Verstellung des Steuerungskolbens bewerkstelliget wird. Haben nun die beschriebenen Maschinentheile die Stellungen, wie in der Figur, so daß der Kolben C im Treibcylinder seinen untersten Platz einnimmt, und der Steuerungskolben c zunächst unter der Röhre steht, durch welche der Cylinder E mit dem Treibcylinder communicirt, so tritt das Aufschlag-

Fig. 158.

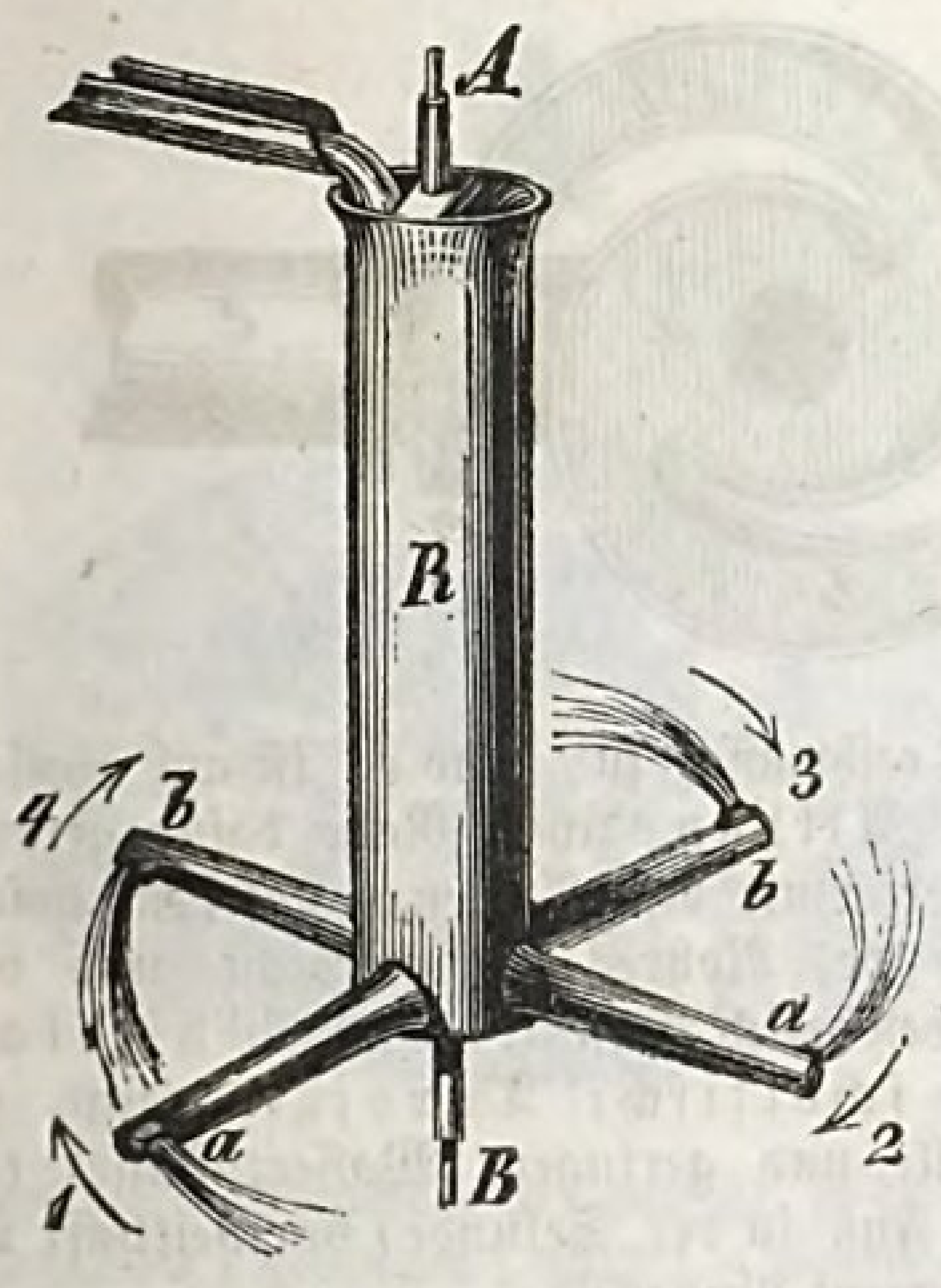


wasser aus dem Fallrohre A durch die Röhren b, a unter den Treibkolben und drückt diesen in die Höhe. Kurz bevor er seine oberste, in der Figur punktirt angedeutete Stellung erreicht, ergreift die auf der Stange f von 2 gegen 1 hingleitende Hülse h am Balancier den Widerhalt 1 und zieht die Stange f in die Höhe, so daß der Steuerungskolben c in die in der Figur durch einen weißen Fleck c_1 angezeigte Stellung zunächst über der Communicationsröhre a zu stehen kömmt, wo dann dem Aufschlagwasser der Zutritt in den Treibcylinder versperrt, dem Wasser unter dem Treibkolben aber der Abfluß aus dem Cylinder B durch die Röhre a und die Mündung e gestattet ist. Während hiebei der Kolben C in Folge seines Gewichtes sinkt, gleitet die Hülse h auf der unbeweglich bleibenden Stange f von 1 gegen den Widerhalt 2 hin, ergreift diesen kurz bevor der Kolben C seinen untersten Platz erreicht und drückt im letzten Momente des Sinkens dieses Kolbens den Steuerungskolben c in die vorige Stellung unter der Röhre a hinab, so daß nun durch die Röhre e kein Wasser mehr ausfließen, das Aufschlagwasser aber wieder unter den Treibkolben treten und denselben von neuem steigen machen kann u. s. f. Die Beschreibung einer zweckmäßigeren, aber auch complizirteren Einrichtung der Kolbensteuerung, ferner einer Wassersäulenmaschine mit doppelter Wirkung würde uns zu weit führen, muß daher der Mechanik, in deren Gebiet sie gehört, anheimgestellt bleiben. Es mag nur noch die Bemerkung hier Platz finden, daß die zuletzt genannten Maschinen vor jenen mit einfacher Wirkung den großen Vortheil gewähren, daß an denselben die Kraft, womit der Treibkolben sinkt, nahe seiner Steigkraft gleich ist und daher wie diese benützt werden kann, während bei den einfach wirkenden Maschinen der Kolben beim Sinken leer gehen muß, und daß beide Kolbenbewegungen unter übrigens gleichen Umständen mit weit größerer Nutzkraft vollführt werden, indem der Theil der Wasserdruckkraft, welcher bei einfach wirkenden Maschinen zum Heben der trägen Masse, womit das Gewicht des Treibkolbens vermehrt werden muß, verwendet wird, mithin für den Nutzeffect der Maschine verloren geht, den Wassersäulenmaschinen mit doppelter Wirkung, bei welchen jede solche Gewichtsvermehrung wegfällt, zu Gute kömmt. Man baut in neuerer Zeit die doppelt wirkenden Wassersäulenmaschinen auch mit zwei Treibcylindern, in deren einem der Kolben steigt, während er im andern sinkt. — Ganz ausgezeichneter Art ist die Einrichtung und Wirkung der von Reichenbach construirten Wassersäulenmaschinen doppelter Wirkung, die in Baiern, nämlich zu Berchtesgaden, Reichenhall u. s. w. zum Heben der Salzsoole aus der Grube oder aus den Soolenbehältnissen zu beträchtlichen Höhen dienen. Neun solche, in verschiedenen Stationen aufgestellte Maschinen bewerkstelligen zusammen eine Hebung der Soole um 3700 Fuß, so daß dieselbe von einer Station zur andern über Berge und Thäler hinweg den Sudhäusern zugeleitet wird.

3. Horizontale Wasserräder. Zu diesen gehört:

a) Segner's Rad, bei welchem der Seitendruck (die Reaction) des Wassers als bewegende Kraft dient (man sehe S. 171). Es besteht aus einem, um eine vertikale Axe AB (Fig. 159) drehbaren, unten geschlossenen, oben offenen Rohre R, aus dessen Untertheil zwei oder mehrere Röhren 1, 2, 3, 4 u. s. w. horizontal hervorstehen, die an den, von der Drehaxe aus betrachtet, nach derselben Richtung gekehrten Seiten Oeffnungen a haben. Wird nun aus einem Behältnisse das Rohr R beständig mit Wasser gespeist, so daß dasselbe sammt seinen Seitenröhren stets angefüllt ist, so wird es, indem das Wasser aus den Seitenöffnungen a herausströmt und somit durch Reaction auf die diesen Oeffnungen gegenüber stehenden Punkt b, b u. s. w. die Röhren 1, 2, 3, 4 u. s. w. in der Richtung der beistehenden Pfeile zu bewegen sucht, um seine vertikale Axe AB gedreht und zwar mit einer Kraft, die mit der Anzahl der horizontalen Röhren und für jede einzelne dieser Röhren mit der Größe der Oeffnungen a in geradem, mit der

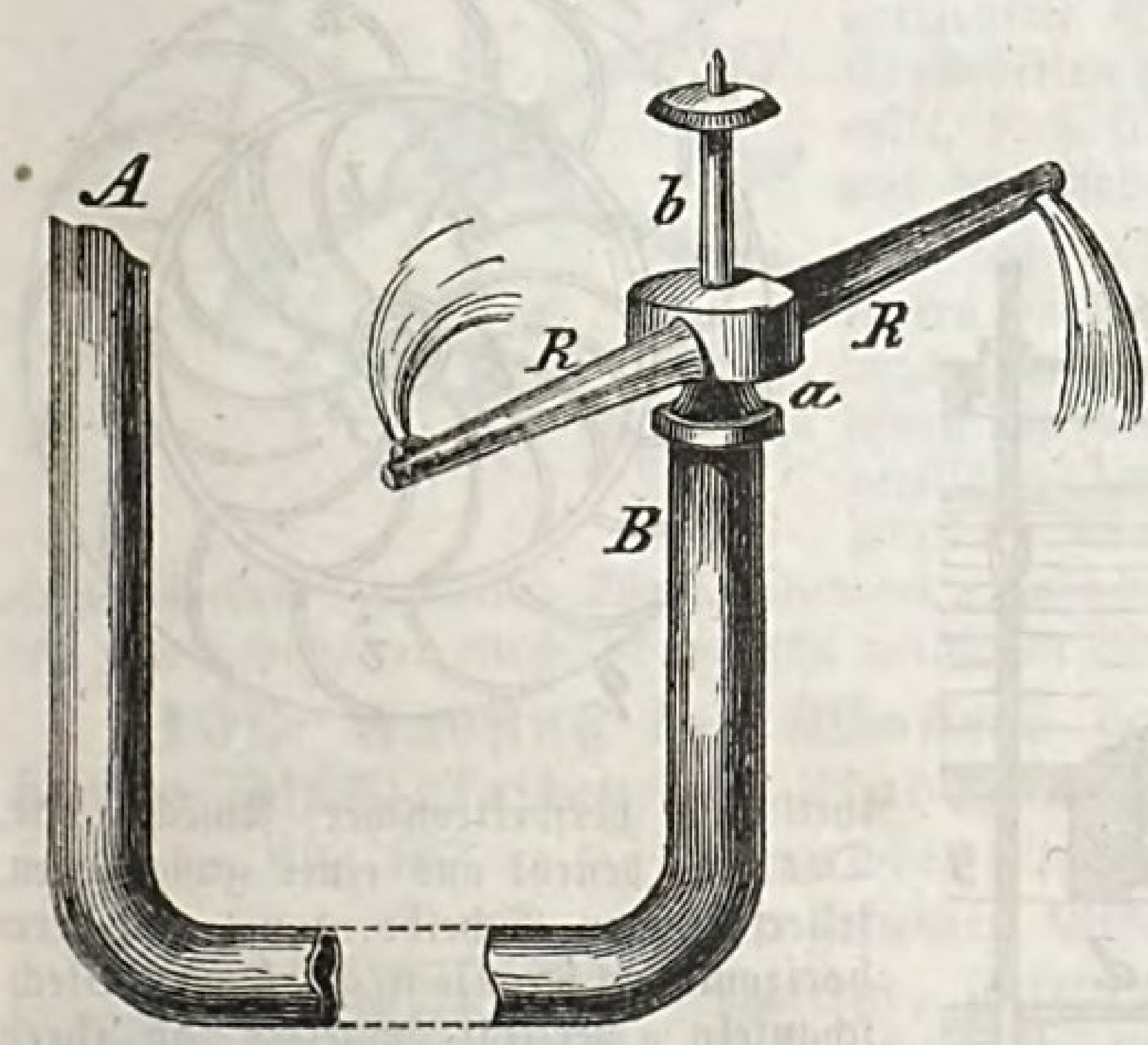
Fig. 159.



Höhe der drückenden Wassersäule hingegen in einem von der Ausflußgeschwindigkeit des Wassers aus a abhängenden Verhältnisse wächst. Dieses letzteren Umstandes wegen sollen die horizontalen Röhren wenigstens an den Enden entsprechend gekrümmt sein, damit das Wasser an den Oeffnungen a nicht plötzlich seine Richtung zu ändern gezwungen ist, sondern diese nöthige Aenderung schon auf dem Wege gegen a hin allmälig erfährt, wo es dann unter übrigens gleichen Umständen aus diesen Oeffnungen mit größerer Geschwindigkeit ausfließt, das Rad somit mit mehr Kraft umlaufen gemacht wird. Der Engländer Barker hat das Segner'sche Reaktionsrad zum Betriebe einer Mahlmühle angewendet. Aber sowohl dieser als auch alle anderen, zu verschiedenen Zeiten gemachten Versuche, mit diesem Rade andere Maschinen zu treiben, gaben kein entsprechendes Resultat; es lieferte das Rad immer eine zu geringe bewegende Kraft. Eine Hauptursache hievon lag in der großen Reibung, welche am untern Ende B der Umdrehungsaxe durch das Gewicht der bedeutenden Wassermasse, die es zu tragen hat, erzeugt wurde und einen beträchtlichen Theil der bewegenden Kraft des Rades verzehrte. Wird diese große Reibung dadurch beseitigt, daß man das Wasser in das System der horizontalen Röhren 1, 2, 3, 4 u. s. w. nicht von oben herab, sondern von unten hinauf eintreten läßt, und gibt man diesen Röhren aus dem vorhin angegebenen Grunde eine passende Krümmung, wie dies bei den in neuerer Zeit von Althans und von Whitelaw construirten Reaktionsrädern der Fall ist, so erhält man einen den praktischen Anforderungen ganz entsprechenden Nutzeffekt.

b) Das Althans'sche Reaktionsrad. Die Fig. 160 zeigt die Einrichtung desselben. A, B ist eine bei A vertikale, entsprechend hohe, unten horizontal und hernach wieder aufwärts gebogene Röhre, durch welche das Druckwasser dem horizontalen Röhrensysteme R, R zufließt, welches mittelst einer Hülse a auf dem Ende des Röhrenschenkels B wasserdicht so aufsitzt, daß es sich um dasselbe möglichst leicht drehen kann. Die Uebertragung der bewegenden Kraft des Rades R auf die damit zu betreibende Maschine geschieht mittelst der Axe b. Ein Rad dieser Art treibt zu Vallendar bei Coblenz eine Lohmühle. Dasselbe hat 24 rheinl. Fuß Durchmesser; die (vom Niveau der Ausflußöffnungen in R, R an zu messende) Höhe der drückenden Wassersäule in der Röhre A, die etwa 2 Fuß im Durchmesser hat, beträgt 96 Fuß. Das Rad macht für sich allein, bei einem Ausfluß von nur etwa 20 Kub. Fuß Wasser aus den Seitenöffnungen in der Minute, in dieser Zeit 90 bis 120 Umläufe. Ein zweites in der Nähe von Vallendar im Gange befindliches derartiges Rad von nur 6 Fuß Durchmesser, an welchem vier horizontale Arme vorhanden sind, deren je zwei einander gegenüberstehende ein S bilden, und wo das Wasser an der Spitze der krummen Arme ausfließt, macht für sich allein unter dem Drucke einer 120 Fuß hohen Wassersäule 300 bis 350 Umläufe in der Minute.

Fig. 160.



c) Whitelaw's Reaktionsrad, welches im J. 1840 zuerst in Schottland in Anwendung kam und seither seiner Einfachheit und guten Leistung wegen auch an mehreren Orten des Continents Eingang fand, ist durch Fig. 161 im Aufrisse und durch Fig. 162 im Grundrisse abgebildet. a ist ein oben geschlossener Cylinder, von welchem zwei (oder auch mehrere) krumme, prismatische Röhren b ausgehen, die gegen die Enden c allmälig enger werden, und welcher sich sammt diesen Röhren und der mit ihm fest verbundenen Welle d an dem obern Ende des Rohres e drehen kann. Dieses Rohr führt dem Rade aus einem höher als dieses gelegenen

Fig. 161.

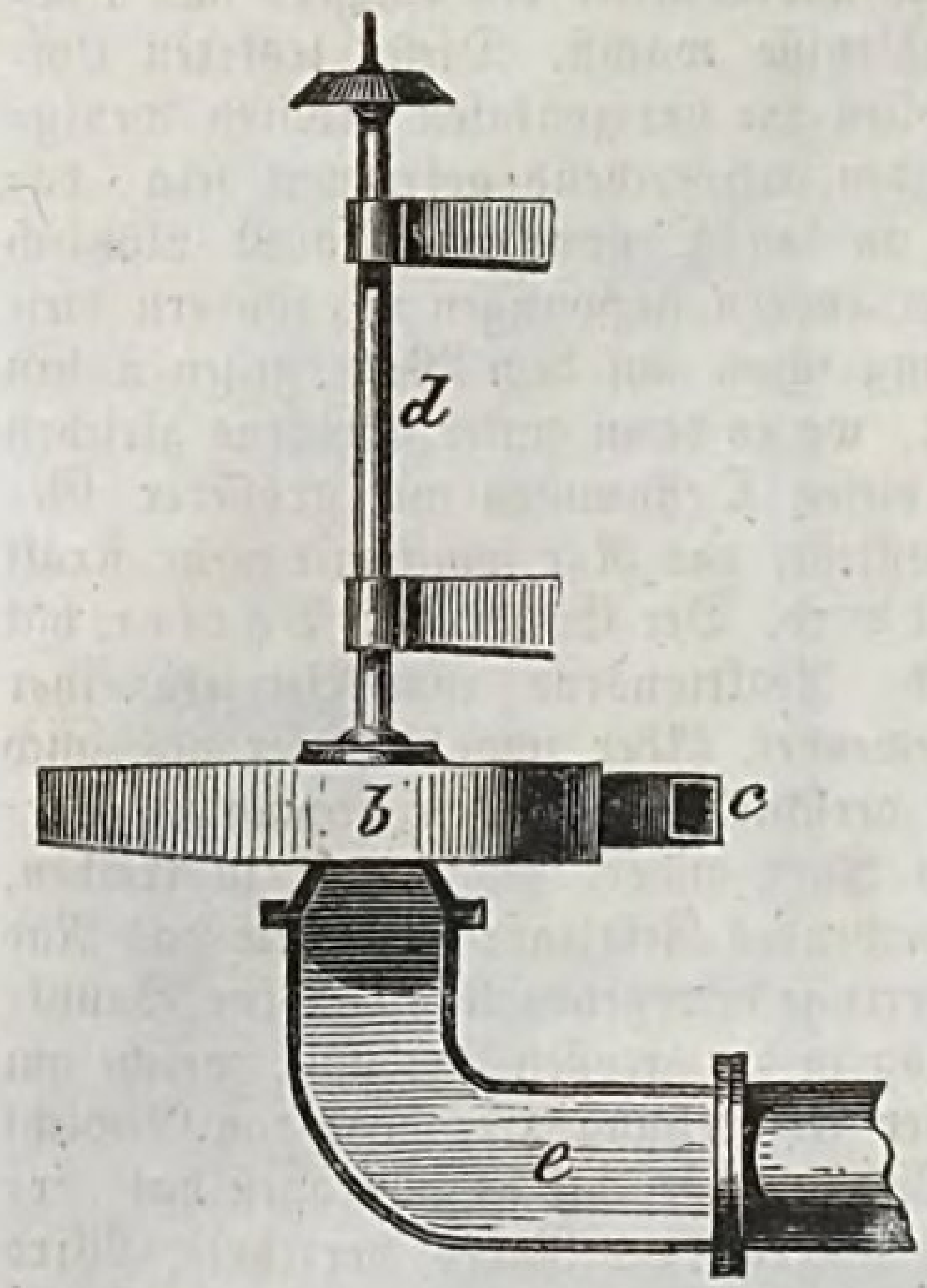
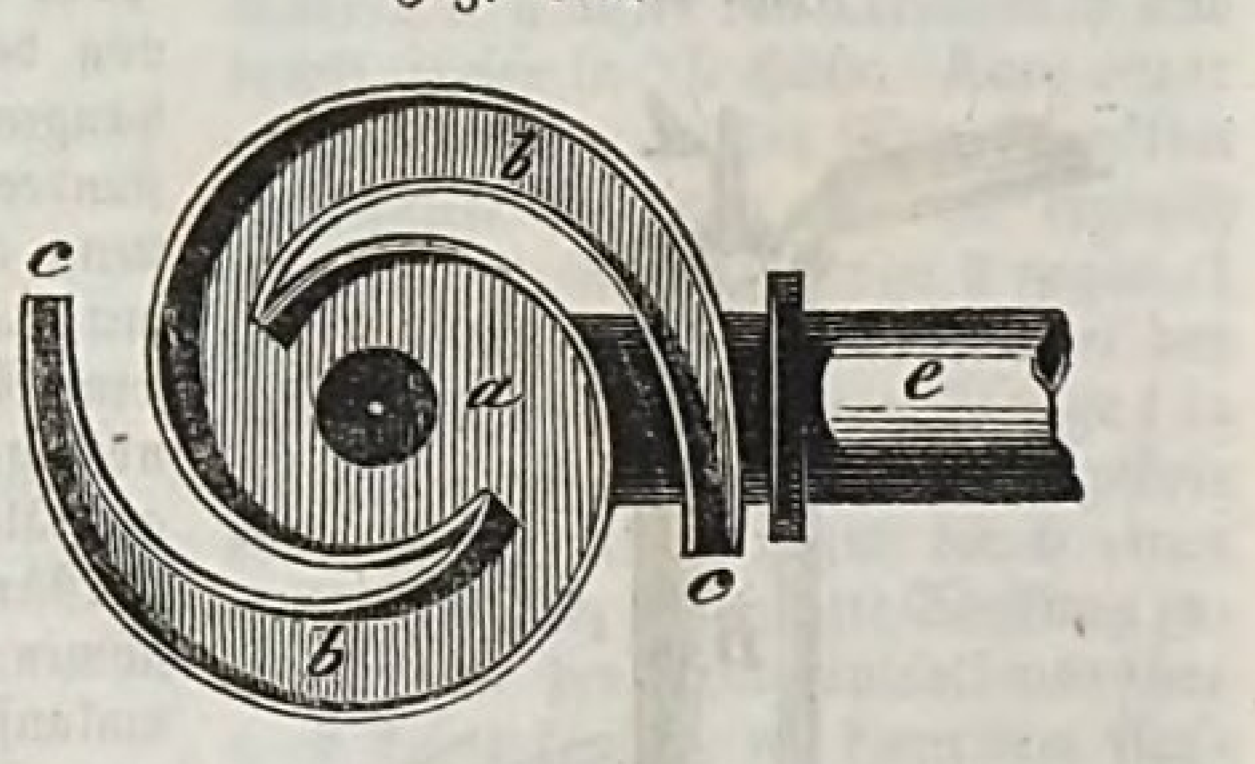


Fig. 162.



Reservoir das Treibwasser zu, und es ist auf ähnliche Art wie bei dem Althan's'schen Rade dafür gesorgt, daß der Cylinder a mit den Armen b auf dem besagten oberen Ende des Rohres e wasserdicht und doch möglichst leicht beweglich aufsitzt. Das Whitelaw'sche Rad (die schottische Turbine) zeigt sich bei hohem Gefälle und geringem Wasserzuflusse (bis ungefähr 20 K. Fuß in der Sekunde) vortheilhaft und gibt etwa 60 Prozent Nutzeffekt.

d) Ein anderes horizontales Wasserrad, welches ebenfalls durch den Seitendruck des Wassers getrieben wird, und welches in der neuesten Zeit)seit 1827) eine besonders wichtige Rolle spielt, ist die Fourneyron'sche oder französische Turbine (Kreiselrad), von der hier nur eine gedrängte Beschreibung Platz finden kann. Die Fig. 163 stellt dieselbe im vertikalen, die Fig. 164 im nach der Linie xy geführten horizontalen Durchschnitte und Fig. 165 in

Fig. 163.

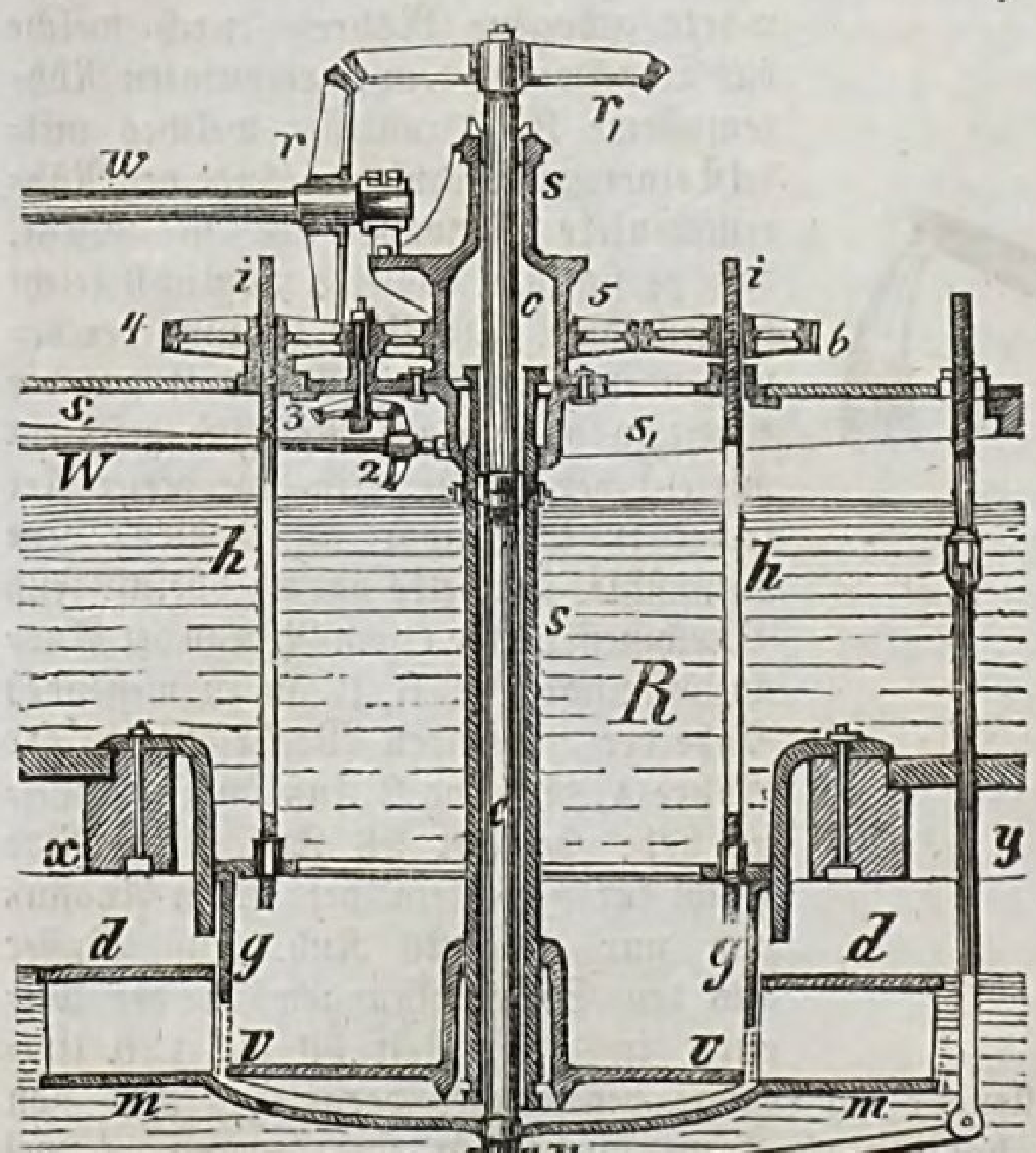
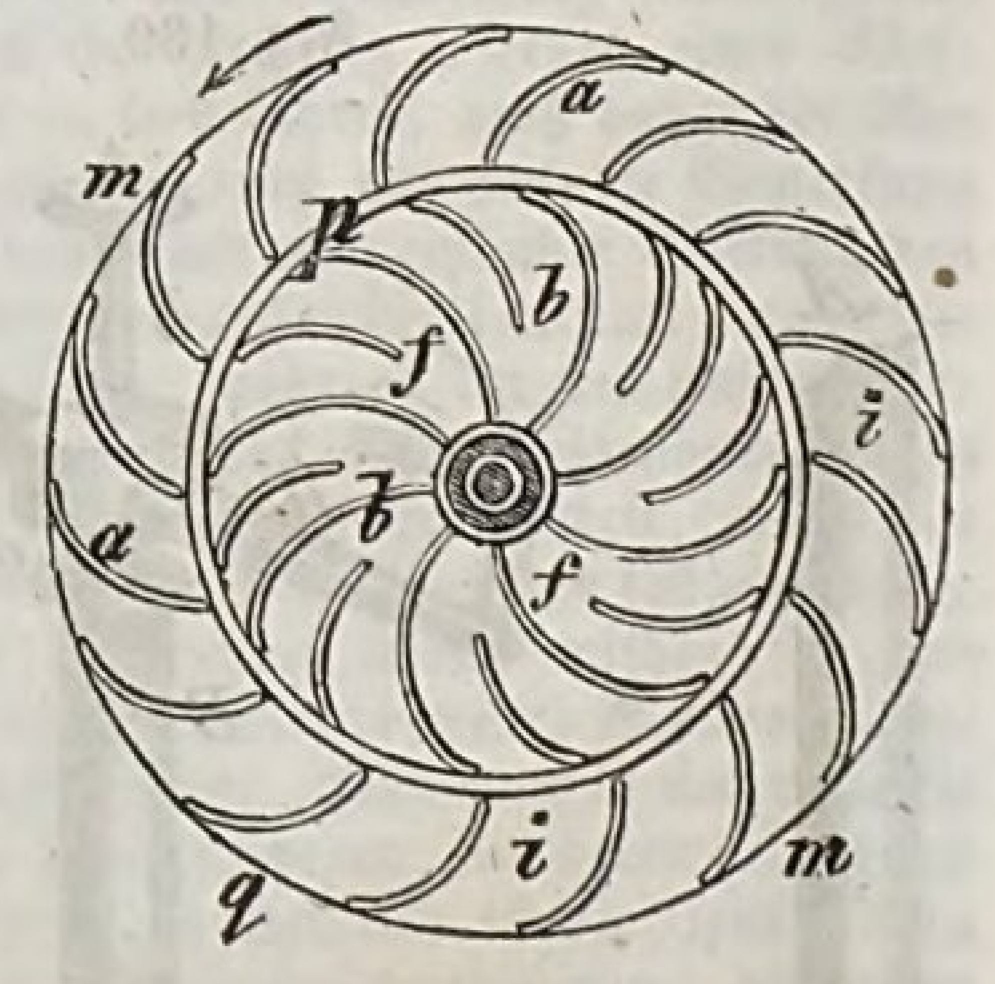
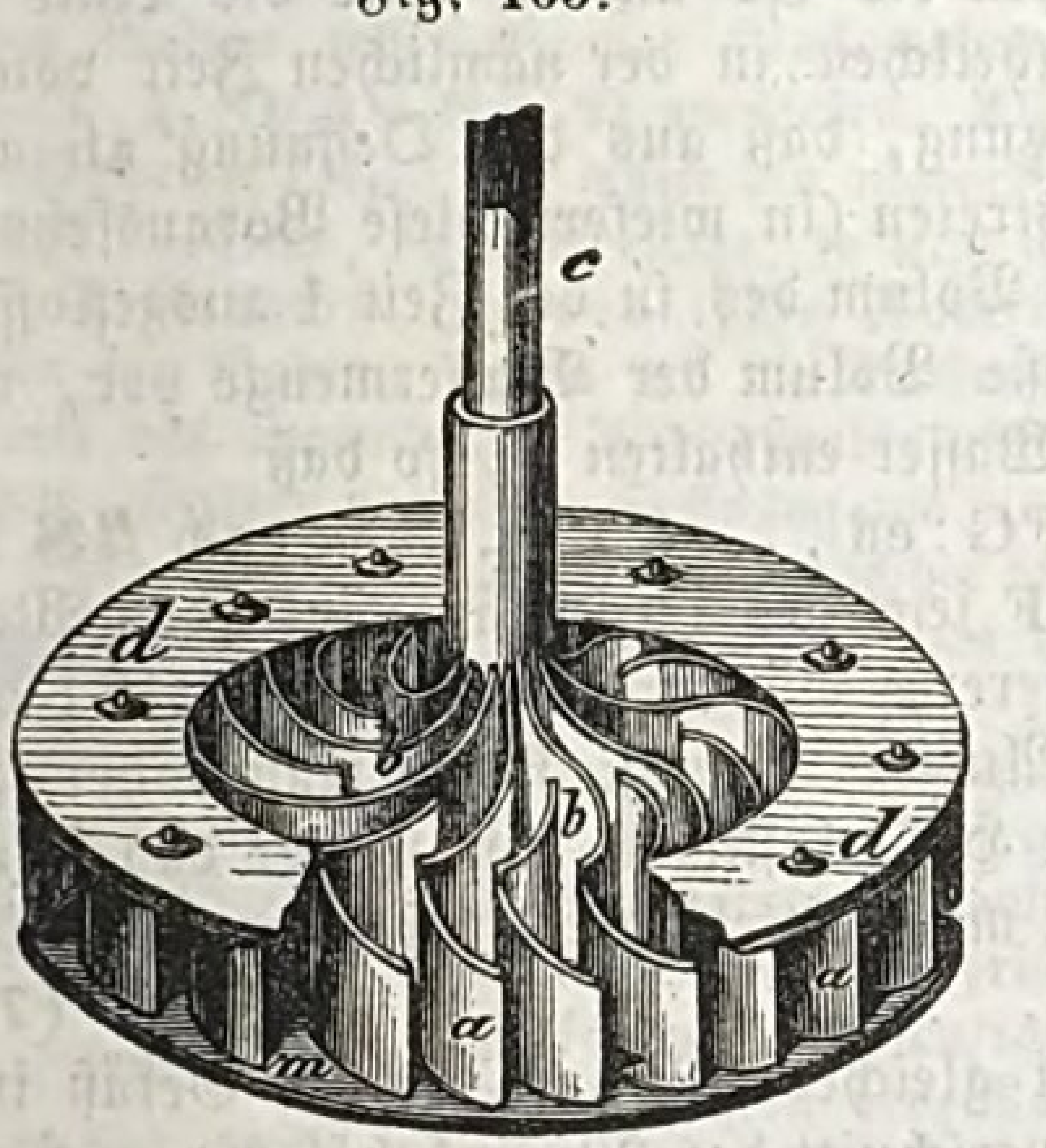


Fig. 164.



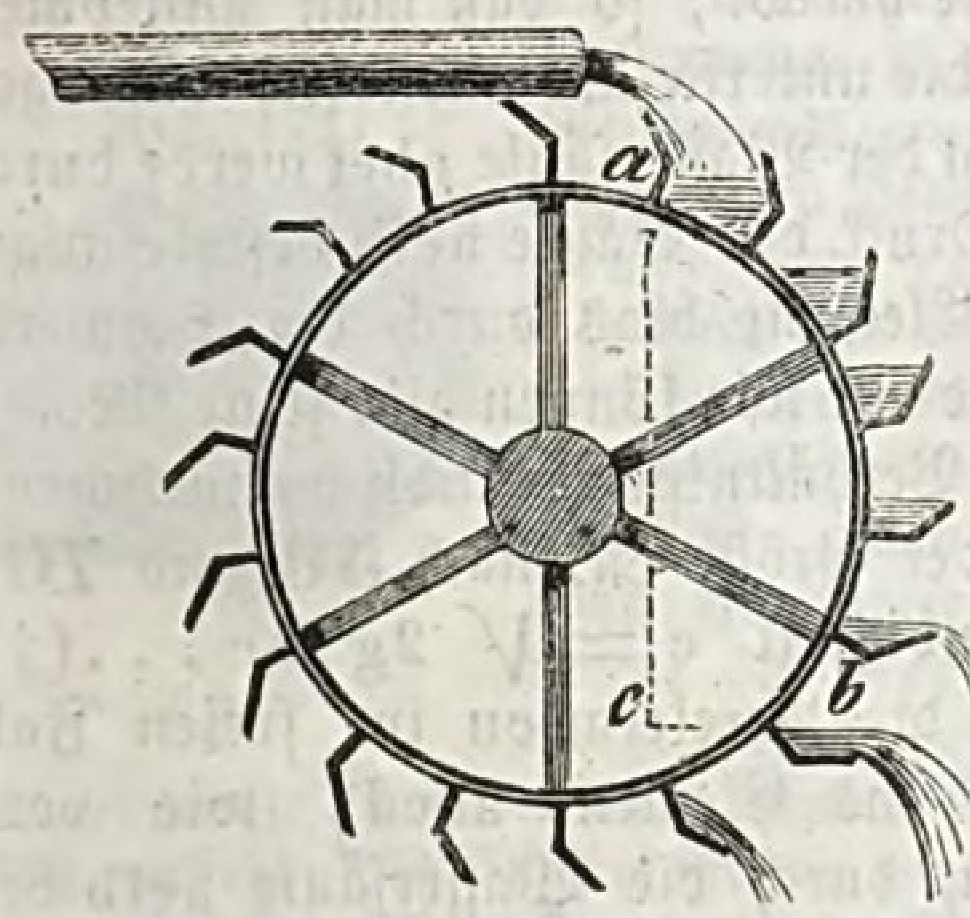
theilweise perspektivischer Ansicht dar. Das Rad besteht aus einer gußeisernen, tellerförmigen Scheibe mnm, auf deren horizontalem Kranze m gekrümmte Blechschaufeln a vertikal aufgesetzt, an ihrem oberen Rande durch einen Blechring d festgehalten und zugleich bedeckt sind, so daß dadurch gekrümmte Kanäle i, i entstehen, durch welche das am innern Umfange p des Schaufelkranzes eintretende Wasser durchfließen und am äußeren Umfange q austreten kann. Das Rad oder die genannte Scheibe mnm ist an einer vertikalen Axe c, c befestigt, welche sich unten in einer Pfanne e, oben aber in einem Halslager (Halsringe) dreht und durch ein Rohr s s geht, das oben an einem Gestelle s_1s_1 festgemacht ist und sich am Untertheil zu einer ringförmigen Fläche v v erweitert, welche mit dem untern Radkranze m in einerlei Ebene liegt, und worauf ringsherum vertikale und krumme Blechschaufeln b festgemacht sind, welche die Bestimmung haben, das Wasser in die Kanäle i, i ... des Rades zu leiten und deswegen Leitkurven heißen. In den ringförmigen Raum zwischen dem äußeren Umfange des Leitkurvensystems und dem in-

Fig. 165.



nern Umfang der (die Schaufeln a enthaltenden) Radkrone md kann ein dünner, gußeiserner Cylinder g, welcher hier die Schütze bildet, herabgelassen und nach Bedürfniß mehr oder weniger in die Höhe gezogen werden, um durch die größeren oder kleineren Ausflußöffnungen, welche auf diese Art an den Enden der von den Leitkurven gebildeten Kanäle entstehen, der Radkrone md eine größere oder geringere Menge des Wassers zuzuleiten, welches in einem Kanale dem Maschinenraume R zufließt und in die Fächer f, f . . . zwischen den Leitkurven gelangt. Das Herablassen und Aufziehen der cylindrischen Schütze g, g geschieht durch drei oder vier Zugstangen h mittelst eines eigenen Mechanismus, der aus in einandergreifenden, wie Muttern auf die Schrauben i, i wirkenden und durch die Welle W bewegbaren Zahnrädern 2, 3, 4, 5, 6 besteht. Ist die Schütze ganz herabgelassen, so daß sie auf der die Leitkurven tragenden Fläche v v (Fachboden) aufsitzt, so kann aus den Leitkurven-Kanälen f, f . . . kein Wasser in die Radkanäle i gelangen; wird die Schütze aber mehr oder weniger aufgezogen, so strömt das Wasser in größerer oder geringerer Menge aus den Kanälen (Fächern) f nach durch die Leitkurven b bestimmten Richtungen in die Kanäle i und treibt, indem es gegen die Radschaufeln a drückt, das Rad in der durch den Pfeil angezeigten Richtung herum, worauf es am äußeren Umfange des Rades austritt und durch den Kanal B fortfließt. Das Rad kann entweder in der Luft oder, wie es in der Zeichnung dargestellt ist, im Wasser, dem sogenannten Unterwasser, gehen, und seine Bewegung wird auf die durch dasselbe zu treibenden Maschinen mittelst der Axe c, c (meistens durch Winkelräder r, r_1 zunächst auf eine horizontale Welle w) übertragen. Bei zweckmäßigster Construction geben Turbinen dieser Art 75 Prozent Nutzeffekt, d. h. liefern eine verwendbare Kraft, die 75 Prozent der absoluten Wirlung des Wassers beträgt.

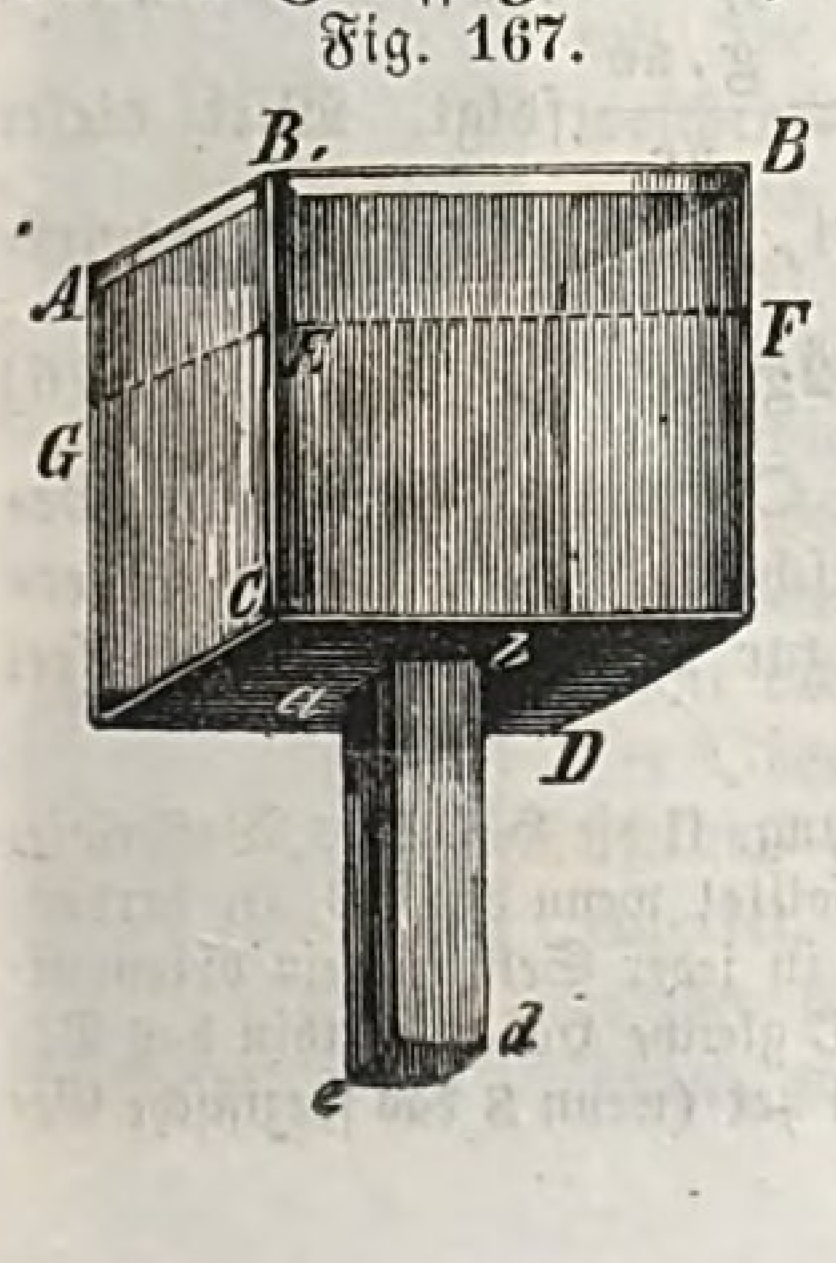
Fig. 166.



e) Bei den sogenannten oberschlächtigen Wasserrädern endlich wirkt das Wasser durch Druck, nämlich durch sein Gewicht. Es sind dies um horizontale Axen bewegliche (vertikale) Räder, welche, wie Fig. 166, einen vertikalen Durchschnitt eines solchen Rades darstellend, zeigt, am Umfange Zellen 1, 1 . . . haben, die das in einem Gerinne zugeleitete Wasser oben bei a aufnehmen und unten bei b wieder ausgießen, so daß ac die Höhe der durch ihr Gewicht wirksamen Wassersäule ist.

109. Ausfluß des Wassers (als Repräsentant aller tropfbaren Flüssigkeiten) am Boden der Gefäße. Wird an einem cylindrischen oder prismatischen, bis AB (Fig. 167) mit Wasser gefüllten Gefäße **ABCD** plötzlich der Boden **CD** entfernt, so tritt jedes einzelne Wassertheilchen blos in Folge seiner Schwere aus dem Gefäße und beobachtet ganz die in **70** für den freien Fall aufgestellten Gesetze. Wird aber der Boden nur zum Theil geöffnet, in demselben nur eine Oeffnung ab angebracht, so geschieht der Austritt der Wassertheilchen aus dieser nicht blos in Folge ihrer Schwere, sondern, da sie nicht so schnell ausweichen können, als die über ihnen befindliche Wassermasse folgen, will, auch in Folge des Druckes von Seite dieser Masse, so daß der Ausfluß mit größerer Geschwindigkeit erfolgt, als bei freiem Falle. Gesetzt, das Wasser sinke, während unten bei

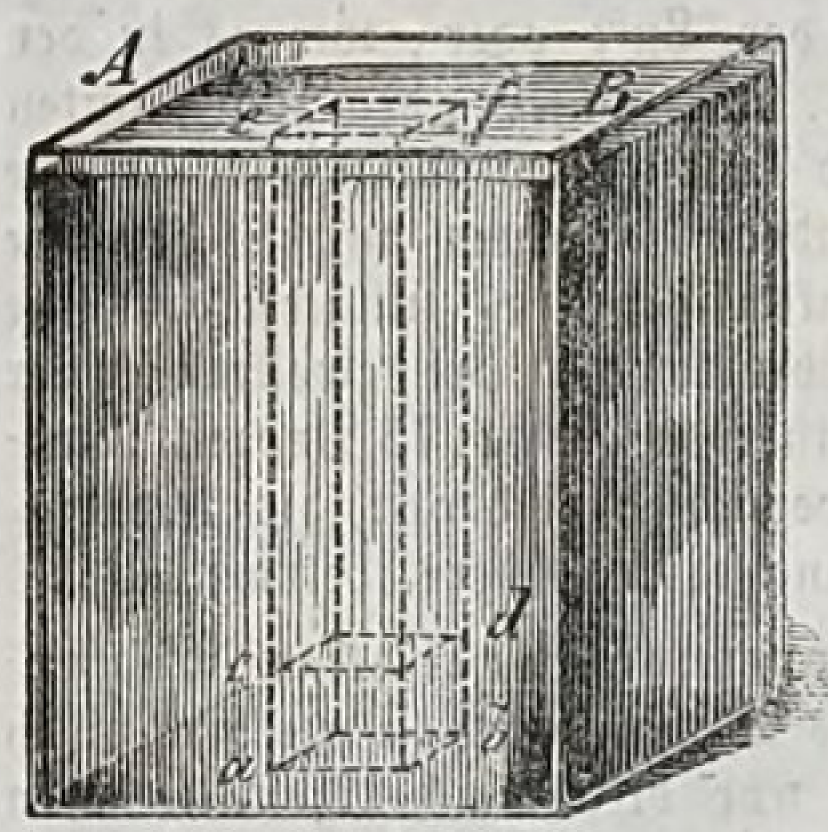
Fig. 167.



ab ein Ausfließen stattfindet, in der Zeiteinheit bis **GF** und es stelle die Linie **bd** den Weg vor, den ein ausfließendes Wassertheilchen in der nämlichen Zeit von **b** aus zurücklegt, so stellt unter der Voraussetzung, daß aus der Oeffnung **ab** alle Wassertheilchen in vertikalen Richtungen austreten (in wiefern diese Voraussetzung richtig ist, wird sich später zeigen), **abcd** das Volum des in der Zeit **1** ausgeflossenen Wasserkörpers und **ABGF** das gleichgroße Volum der Wassermenge vor, um welche nach dieser Zeit im Gefäße weniger Wasser enthalten ist, so daß
ed.bd = FG.BF und hieraus **bd:BF = FG:ed** . . . (*) ist. Da nach **48** **bd** die Geschwindigkeit des ausfließenden und **BF** jene des im Gefäße sinkenden Wassers vorstellt, so verhält sich erstere zu letzterer, wie der Querschnitt (**GF**) des Gefäßes zum Querschnitte (**ab** oder **ed**) der Ausflußöffnung. Kennt man daher die Größe dieser beiden Querschnitte und hat die Höhe bestimmt, um welche das Wasser im Gefäße in der Zeit = 1 sinkt, so findet man mittelst der Proportion (*) leicht die Ausflußgeschwindigkeit (**bd**) . . . . (75)

Wird das Wasser im Gefäße immer bei gleicher Höhe (z. B. das Gefäß immer damit angefüllt) erhalten oder ist der Querschnitt des Wasserbehälters im Verhältniß zu jenen der Ausflußöffnung so groß, daß man die Oberfläche des Wassers im Behälter, während es am Boden ausfließt, eine sehr kleine Zeit hindurch als unveränderlich betrachten kann, so tritt jedes Wassertheilchen aus der Oeffnung **ab** (Fig. 168) nicht blos in Folge seiner Schwere, sondern auch noch überdies in Folge des Druckes einer über demselben bis **AB** hinauf stehenden Wassersäule hervor, so daß man annehmen kann, das Element (die unterste als unendlich dünn gedachte Schichte) **abcd** der Wassersäule **abef** werde durch den hydrostatischen Druck der Säule **aefb** beschleunigt.

Fig. 168.



Fiele das besagte Element blos durch die Schwere, so würde dasselbe, (denn wir können alle seine Molekel als unter gleichen Verhältnissen befindlich annehmen) auf dem Wege von der Größe **ca** (nach **50** und **70**) eine Ausflußgeschwindigkeit $c = \sqrt{2g \cdot ac}$ . . . (†) erlangen, wenn g die Acceleration im freien Fall bedeutet. Da aber das Element **abcd**, wie vorher erwähnt worden, durch die Wassersäule **aefb** beschleunigt wird, so muß es mit einer Acceleration g_1 fallen, die größer ist als g und zwar kann man, den oben gemachten Voraussetzungen gemäß, annehmen, g_1 übertreffe das g so vielmal, als das Gewicht **P** des Wasserkörpers **aefb** größer ist als das Gewicht p des Körpers **acdb**, so daß, da (nach **105**) $P = ab.ae.s$ und $p = ab.ac.s$ ist (wenn s das specifische Gewicht des Wassers bezeichnet), die Proportion besteht:

$g_1 : g = ab.ae.s : ab.ac.s = ae : ac$, woraus $g_1 = \frac{g \cdot ae}{ac}$ folgt. Wird dieser Werth anstatt g in vorstehende Gleichung (†) substituirt, so erhält man die wirkliche Ausflußgeschwindigkeit $c_1 = \sqrt{2g \cdot \frac{ae}{ac} \cdot ac} = \sqrt{2g \cdot ae}$ . . . . (76)

d. h. das Wasser (jedes Wassertheilchen) tritt aus der Oeffnung **ab** mit einer Geschwindigkeit hervor, die eben so groß ist, als die Geschwindigkeit, welche es erlangen würde, wenn es vom Wasserspiegel **AB** bis zur Ausflußöffnung **ab** frei herabfiele.

Wäre nun im Allgemeinen A die Größe der Ausflußöffnung, H die Höhe des Wasserspiegels über dieser Oeffnung und C die Ausflußgeschwindigkeit, so sollte, wenn der aus ab hervortretende Wasserstrahl überall einen gleichen Querschnitt hätte, in jeder Sekunde ein prismatischer Wasserkörper ausfließen, der die Basis A und eine dem C gleiche Höhe, mithin das Volum $V = A \cdot C = A\sqrt{2gH}$ und das Gewicht $M = A \cdot S\sqrt{2g \cdot H}$ hat (wenn **S** das spezifische Ge-

wicht des Wassers bedeutet) und in der Zeit T (in T Sekunden) sollte die Wassermenge (dem Volum nach) also das Wasservolum $M_1 = T.A\sqrt{2g.H}$ ...1) und das Wassergewicht $G = T.A.S\sqrt{2g.H}$ ...2) ausfließen. Allein dies ist nicht der Fall, denn bestimmt man die Wassermenge (M_{11}), die unter den angegebenen Umständen aus der Oeffnung im Boden in der Zeit T ausfließt, durch Versuche, so zeigt sie sich immer bedeutend kleiner als die nach der Formel 1) berechnete, theoretische Wassermenge (M_1). Der Grund dieser Verschiedenheit liegt, wenn der Boden, worin sich die Ausflußöffnung befindet, dünn ist, darin, daß der Querschnitt des austretenden Wasserstrahls nicht überall eine mit der Ausflußöffnung gleiche Größe A hat, sondern von dieser Oeffnung aus bis auf eine gewisse Entfernung an Größe allmälig immer ab- und nachher wieder zunimmt, d. i. (wie man sich gewöhnlich auszudrücken pflegt) daß der Wasserstrahl eine Zusammenziehung oder Contraction (s. Fig. 169 und 170) erfährt, welche von der schiefen und krummlinigen Bewegung der seitwärts über der Ausflußöffnung befindlichen Wassertheilchen gegen diese Oeffnung hin herrührt. Wenn der die Ausflußöffnung enthaltende Boden dick ist oder an dieser Oeffnung prismatische oder cylindrische Röhren angesetzt sind (s. Fig. 170 und 171), so kömmt zur Contraction noch überdies der Umstand hinzu, daß wegen der Adhäsion des Wassers an den Wänden des Ausflußrohres die Ausflußgeschwindigkeit kleiner ausfällt, als sie die Gleichung (76) für die stattfindende Höhe des Wasserspiegels über der Ausflußöffnung gibt. Man kann aber aus der berechneten, theoretischen Wassermenge M_1 [nach Gleichung 1)] die wirklich ausfließende Menge M_{11} erhalten, wenn erstere in einem, der stattfindenden Contraction entsprechenden Verhältnisse verkleinert wird, indem man sie mit einem aus Versuchen abzuleitenden, ächten Bruch, dem sogenannten Contractions- oder Reductions-Coefficienten n multiplizirt. Man hat daher zur Berechnung der Wassermenge M_{11}, welche aus einer Bodenöffnung wirklich ausfließt, die Gleichung $M_{11} = n.T.A\sqrt{2gH}$ ... 3), in welcher die Buchstaben die vorher angegebenen Bedeutungen haben. Nach genauen Versuchen kann für kreisrunde und rechteckige Ausflußöffnungen in einem dünnen Boden $n = 0{\cdot}62$ und wenn das Wasser durch einen vertikalen cylindrischen oder prismatischen Kanal ausfließt (Fig. 171), bei welchem die Länge den Durchmesser oder die kleinste Dimension des Querschnittes 2 bis 3 mal übertrifft, kann $n = 0{\cdot}82$ angenommen werden. Ist die Ausflußöffnung ein kurzer konischer nach abwärts sich verjüngender Kanal, so kömmt die theoretische Ausflußmenge der wirklichen noch näher. Sie ist ihr beinahe gleich, wenn der Ausflußkanal die nämliche Gestalt, wie der verjüngte Theil des ausfließenden Wasserstrahls (Fig. 172) hat und, wie sich eigentlich von selbst versteht, als Ausflußöffnung seine Ausmündung angenommen wird.

Fig. 169.

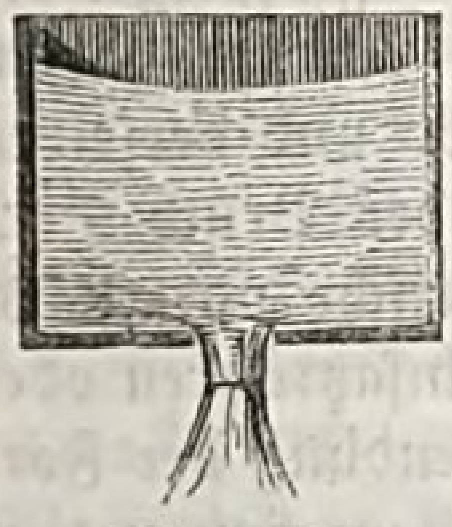


Fig. 170.

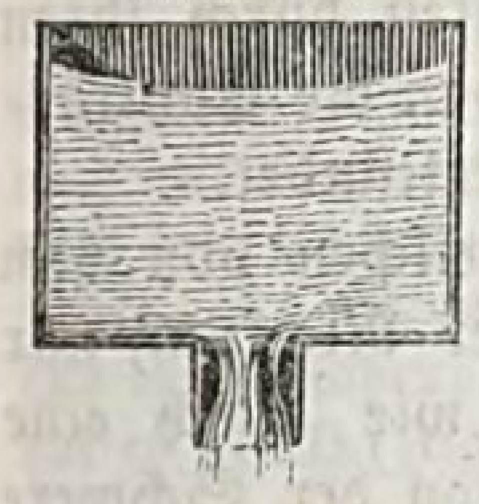
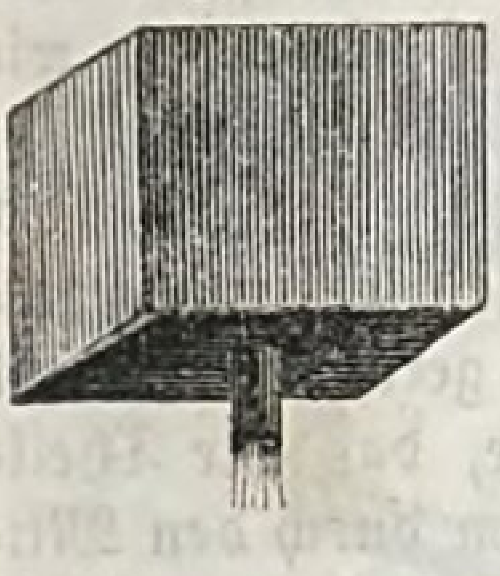


Fig. 171.



110. Ausfluß des Wassers aus Seitenöffnungen. Da jedes Theilchen im Innern einer Wassermasse dem Druck der darüberliegenden Theilchen nach abwärts und nach allen Seiten mit ganz gleicher Kraft auszuweichen sucht (**102**), so wird ein an einer Seitenwand gelegenes Theilchen, z. B. a (Fig. 173) durch eine in dieser angebrachte Oeffnung mit der nämlichen Geschwindigkeit auszufließen anfangen, mit welcher dies geschehen würde, wenn die Ausflußöffnung im Boden des Gefäßes in einem Abstande von der Wasseroberfläche sich befände, welcher der Tiefe des Theilchens a unter dieser Oberfläche gleich ist, so daß [nach (76) auf S. 180] die Geschwindigkeit, womit irgend ein Flüssigkeitstheilchen aus einer Seitenöffnung hervortritt, im Allgemeinen $= \sqrt{2g.h}$ . . . 3) ist, (wenn h dessen senkrechten Abstand von der Flüssigkeitsoberfläche bedeutet); mithin desto größer ausfällt, je tiefer es unter der Oberfläche liegt. Dem zu Folge haben die Wassertheilchen, die aus einer und derselben Seitenöffnung ac hervortreten, nicht einerlei, sondern eine desto größere Anfangsgeschwindigkeit, je weiter sie im Gefäße von a gegen c hin liegen. Allein man kann, wenn die Höhe der Ausflußöffnung in der Seitenwand

Fig. 172.

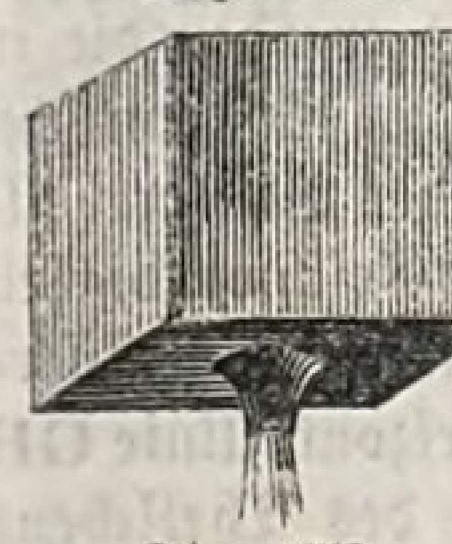
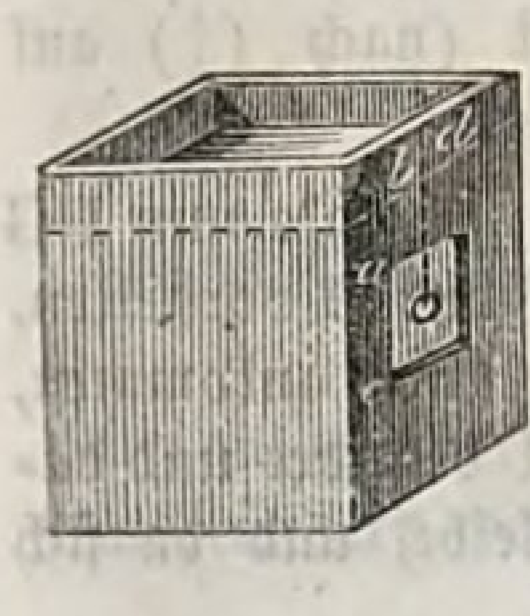


Fig. 173.

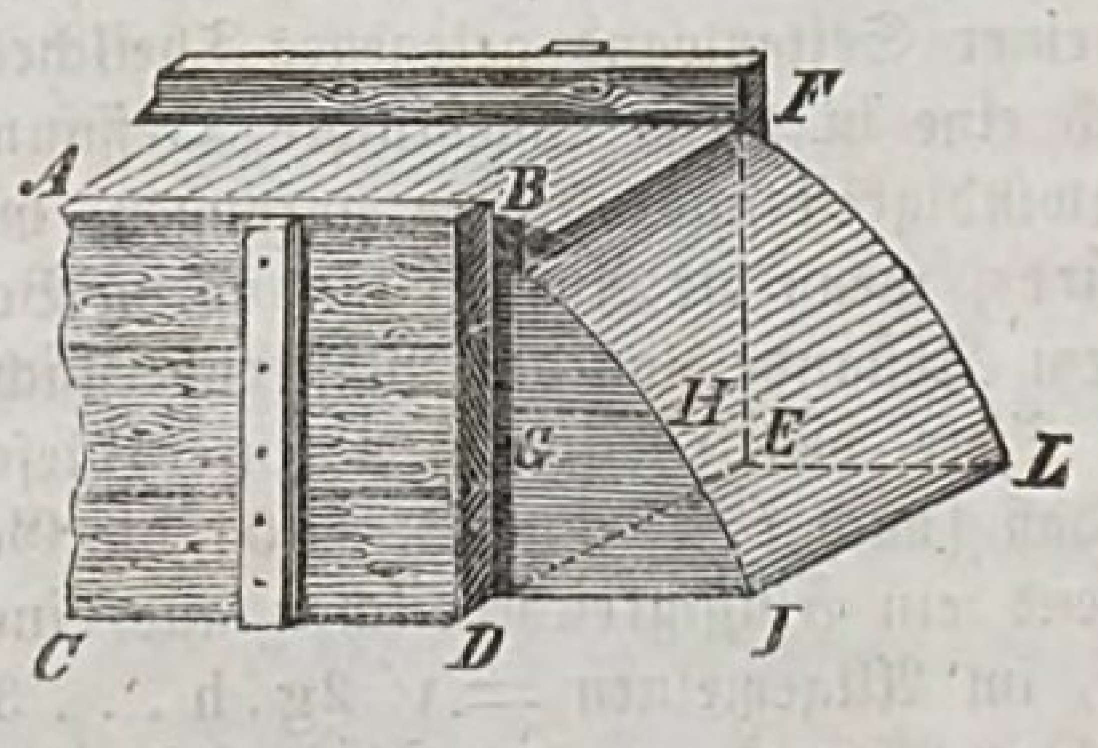


im Verhältniß gegen ihre Entfernung von der Wasseroberfläche klein ist . . . *), ohne Fehler annehmen, daß alle Theilchen mit der **mittleren** Geschwindigkeit d. h. mit jener Geschwindigkeit austreten, die dem durch den Mittelpunkt der Seitenöffnung ausfließenden, mithin eben so weit, wie dieser von der Oberfläche entfernt liegenden Theilchen zukömmt, so daß wenn o den besagten Mittelpunkt bezeichnet, das aus ac ausfließende Wasser die Anfangsgeschwindigkeit $c_1 = \sqrt{2g \, . \, ob}$ . . . 4) hat. Die Ausflußmenge wird wie für den Ausfluß aus einer Oeffnung im Boden, nach Formel 3) S. 180 $M_{11} = n \, . \, T \, . \, A \sqrt{2g \, . \, H}$ . . . 5) berechnet, wo aber **H** den Abstand des Mittelpunktes der Ausflußöffnung vom constanten Wasserspiegel bezeichnet, während die übrigen Buchstaben die früher angegebenen Werthe haben. Ueberflüssig ist es vielleicht zu bemerken, daß **A**, g und **H** in einer und derselben Maßeinheit, z. B. in Fußen, ausgedrückt sein müssen und für n der Bruch 0·62 oder 0·82 zu setzen ist, je nachdem der Ausfluß durch eine cylindrische oder prismatische Oeffnung in einer dünnen Wand oder durch so gestaltete Ansatzröhren oder Kanäle in einer dicken Wand stattfindet. Uebrigens wird bei Anwendung der Formel 5) zur Berechnung der wirklichen Ausflußmenge aus den Seitenwänden vorausgesetzt, daß die Ausflußöffnung in Bezug auf eine in Gedanken durch ihren Mittelpunkt gezogene Horizontallinie symmetrisch gestaltet sei und daß die Contraktion auf allen Seiten rings um die Oeffnung herum gleichmäßig stattfindet.

Da jedes aus einer Seitenöffnung hervortretende Wassertheilchen von dem Augenblicke an, wo es diese Oeffnung verlassen hat, in horizontaler Richtung nur mehr vermög der Trägheit, also mit gleichförmiger Bewegung, wie durch eine momentane Kraft getrieben, fortzugehen sucht, gleichzeitig aber von der Schwere continuirlich vertikal abwärts gezogen wird, so muß die Bahn, die dasselbe und somit der ganze, aus der Seitenöffnung hervortretende Wasserstrahl nimmt, so wie die eines horizontal geworfenen Körpers, eine Parabel sein.

Ist die oben unter *) vorausgesetzte Bedingung, nämlich daß die Höhe der Ausflußöffnung gegen ihre Entfernung von der Wasseroberfläche klein sei, nicht erfüllt, ist vielmehr diese Entfernung im Verhältniß zu ihrer Höhe gering oder wohl gar die ganze Seitenwand des Gefäßes offen, so ist die Annahme, daß alle Theilchen mit einer **mittleren** Geschwindigkeit austreten, wie sie dem durch den Mittelpunkt der Seitenöffnung ausfließenden Theilchen zukömmt, nicht mehr zulässig und es wird in diesem Falle die Ausflußmenge auf folgende Weise berechnet. Sei **ABCDEF** (Fig. 174) ein bis **BF** stets mit Wasser voll erhaltenes, gerades prismatisches Gefäß, die vertikale Seitenwand **BDEF** sei offen und man denke sich diese Oeffnung aus lauter sehr engen vertikalen Spalten zusammengesetzt; so werden die in einer und derselben Spalte, z. B. zunächst an **BD** über einander liegenden Wassertheilchen mit desto größerer Geschwindigkeit heraustreten, je tiefer sie unter dem Wasserspiegel liegen. Stellt die Horizontallinie **GH** die Austrittsgeschwindigkeit des Theilchens **G** und **DJ** diese Geschwindigkeit für das Theilchen **D** vor, so ist (nach (†) auf S. 180) $GH = \sqrt{2gBG}$ und $DJ = \sqrt{2gBD}$ und hieraus folgt

Fig. 174.



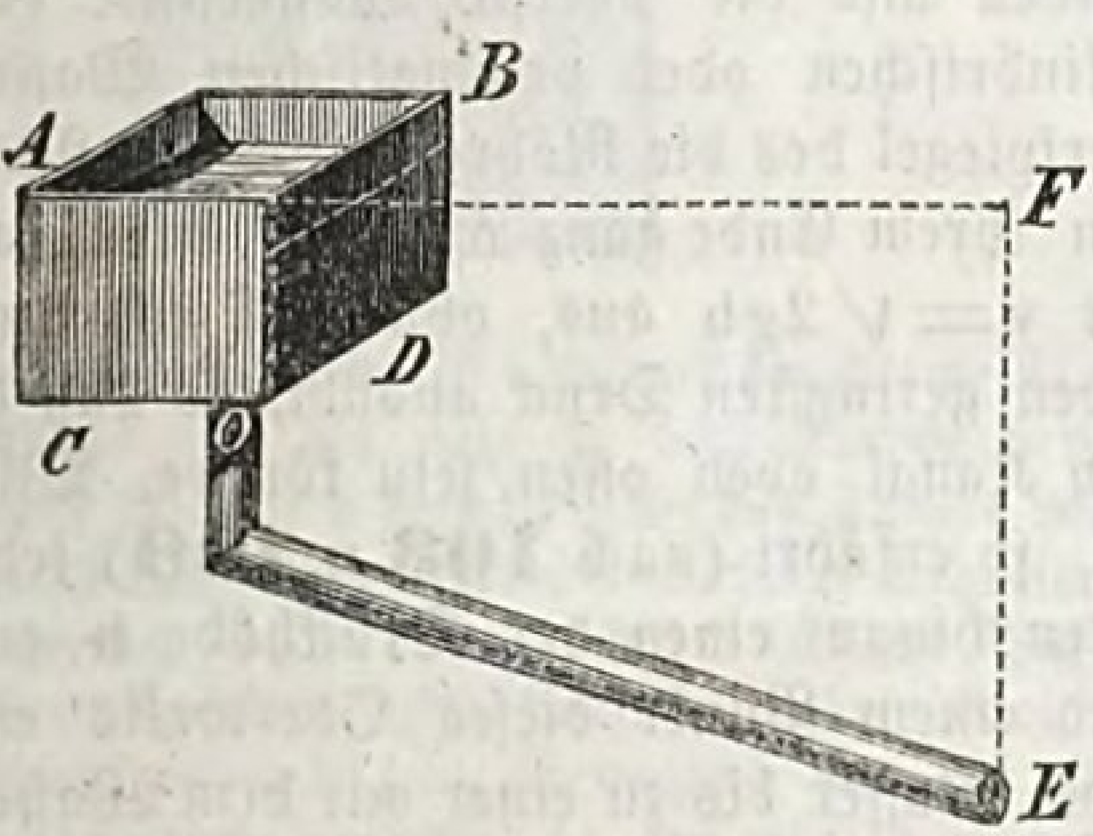
$GH : DJ = \sqrt{2gBG} : \sqrt{2gBD}$ oder $\overline{GH}^2 : \overline{DJ}^2 = BG : BD$ . . . 6). Da nun **BG** und **BD** die Abscissen, **GH** und **DJ** die Ordinaten der Punkte **H** und **J** vorstellen, in welchen die Wassertheilchen **G** und **D** nach Verlauf einer Sekunde ankommen, während das oberste Theilchen **B** (das sich unter dem Drucke Null befindet und daher auch die Geschwindigkeit Null hat) an seinem Platze (**B**) verbleibt, und da sich

auf ganz gleiche Weise das nämliche Verhältniß zwischen den Ordinaten und Abscissen der Punkte ergibt, in welchen die übrigen zwischen **B** und **D** gelegenen Wassertheilchen nach der ersten Sekunde ankommen, so folgt, daß in einer Sekunde zunächst an **BD** eine aus lauter einzelnen übereinander liegenden Theilchen bestehende vertikale Wasserschichte aus dem Gefäße hervortritt, deren äußere Begrenzung **BHJ** ein Stück einer Parabel ist (denn nur bei der Parabel verhalten sich, wie es die Proportion 6) ausspricht, die Quadrate der Ordinaten wie die Abscissen). Wiederholt man die nämlichen Schlüsse für die Wassertheilchen der übrigen Vertikalspalten, aus welchen man die Oeffnung **BDEF** bestehend dachte, so begreift man, daß in einer Sekunde aus jeder dieser Spalten eine der Wasserschichte, **BHJD** ganz gleiche Wasserschichte, mithin aus der ganzen Seitenöffnung **BDEF** ein Wasserkörper **BDJLEF** hervortreten muß, der den parabolischen Sektor **BHJD** zur Grundfläche und die Breite **DE** der Ausflußöffnung zur Höhe hat. Es strömt daher in einer Sekunde ein Wasserkörper, dessen Größe

$M = \frac{2}{3}\, BD . DJ . DE = \frac{2}{3}\, BD . DE . \sqrt{2gBD}$ ist und somit in der Zeit **T** die Wassermenge $MT = T . \frac{2}{3} BD . DE \sqrt{2gBD}$ aus.

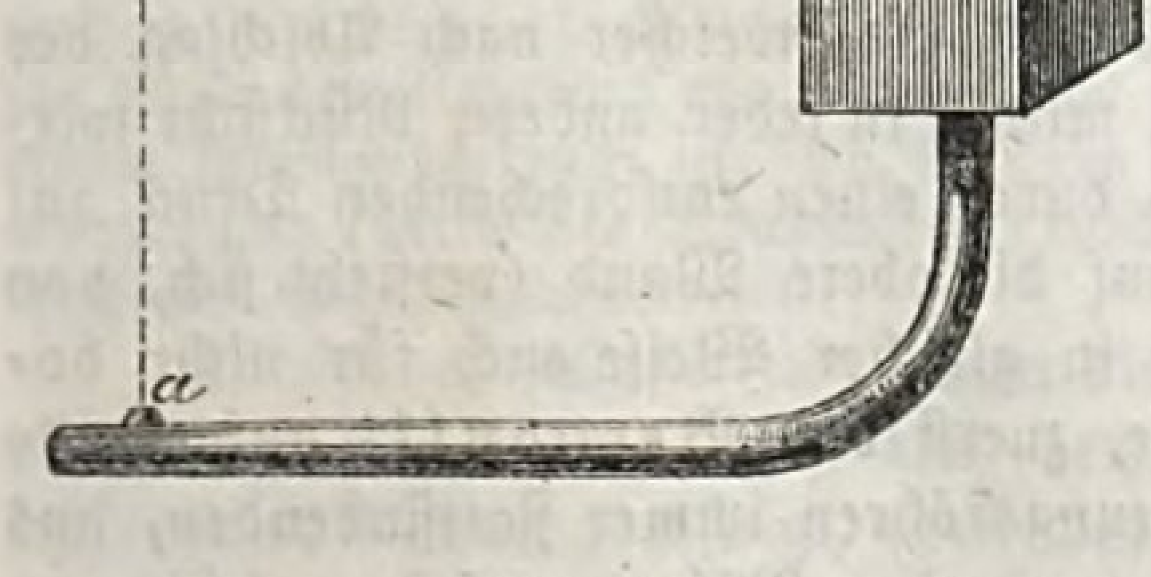
Ist nicht die ganze Seitenwand des Gefäßes offen, sondern in derselben nur eine größere rechteckige Oeffnung angebracht, so muß die auf die eben angegebene Art berechnete Wassermenge noch mit einem passenden Contractionscoefficienten n multiplicirt werden, dessen Werth sich aber nach dem Umstande richtet, ob an allen Seiten rings um die Oeffnung oder nur an 3, 2 oder 1 Seite der Oeffnung Contraction stattfindet. Die respektiven Werthe von n für diese vier Fälle sind der Erfahrung gemäß: 0·62, 0·642, 0·664 und 0·697. Wasser, welches aus einem Behälter ABCD (Fig. 175) durch eine horizontale oder geneigte Röhre OE abgeleitet wird, fließt nicht, wie es sollte, mit der Geschwindigkeit $c = \sqrt{2g . EF}$ aus, welche dem Abstande EF des Mittelpunktes E der Ausflußöffnung vom Wasserspiegel AB entspricht, sondern die Ausflußgeschwindigkeit ist bedeutend kleiner und zwar wegen des Widerstandes, den das Wasser durch die Reibung im Innern der Röhre und beim Austritte aus derselben erfährt, und welcher, vorausgesetzt, daß es die Röhre ganz ausfüllt, mit deren Länge im geraden, mit ihrer Querschnittsfläche im umgekehrten und mit der Geschwindigkeit des fließenden Wassers im directen, aber quadratischen Verhältnisse steht, überdieß desto größer ist, je mehr Krümmungen die Leitungsröhre hat.

Fig. 175.



III. Ausfluß aus der oberen Wandfläche einer Röhrenleitung. Da gedrückte Wassertheilchen dem Drucke nach allen Richtungen mit gleicher Kraft auszuweichen suchen, so sollte das Wasser aus der oberen Oeffnung a (Fig. 176) (gerade wie wenn sich diese unter gleicher Höhe in einer Seitenwand befände) mit der nämlichen Geschwindigkeit $v = \sqrt{2g . ab}$ hervortreten, als wäre es durch den Abstand ab dieser Oeffnung a vom Wasserspiegel **AB** frei gefallen und es sollte so lange steigen, bis durch Rückwirkung der Schwere die ganze Geschwindigkeit vernichtet worden, d. i. bis es den Punkt b erreicht hat, von welchem es bis a frei herabfallen müßte, um diese Geschwindigkeit zu erlangen. Allein die Geschwindigkeit fällt viel geringer aus, und zwar wegen der Adhäsion des Wassers an den Wänden der Leitungsröhre und an den Rändern der Ausflußöffnung und wegen der Verzögerung, welche die aus=

Fig. 176.



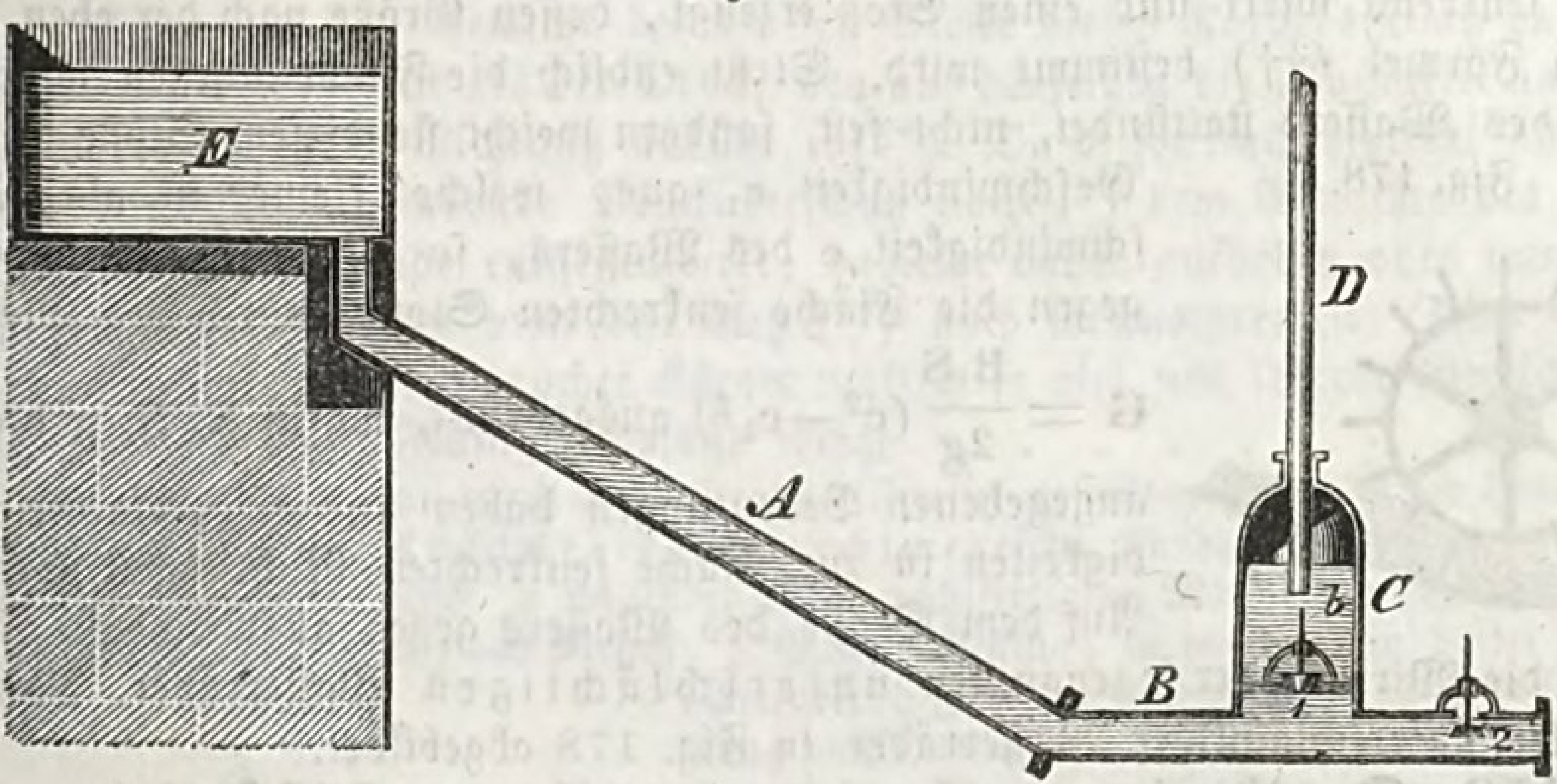
fließenden Wassertheilchen durch die Seitenbewegung nach der Oeffnung hin und durch jene Theilchen erleiden, welche, nachdem sie die möglich größte Höhe erreicht haben, wieder herabfallen und den aufsteigenden begegnen. Es ist daher die Höhe, bis zu welcher das Wasser aus einer Oeffnung in der obern Wand der Leitungsröhre emporspringt (d. i. die Sprunghöhe), immer geringer als die Höhe, von welcher es bis zur Ausflußöffnung hin fällt (d. i. als die Fallhöhe). Uebrigens ist die Sprunghöhe unter sonst gleichen Umständen größer, wenn die Zuleitungsröhren weiter und weniger gekrümmt sind, die Ausflußöffnung enger und anstatt in einer vertikalen Röhre in einer horizontalen, verhältnißmäßig dünnen Platte angebracht ist, und wenn der Wasserstrahl nicht ganz vertikal in die Höhe steigt. Die Ursache hievon liegt in der Verminderung der vorerwähnten, die Ausflußgeschwindigkeit schwächenden Hindernisse und darin, daß die Geschwindigkeit der in den Zuleitungsröhren sich bewegenden größeren Wassermasse an der Ausflußöffnung auf desto weniger Wassertheilchen übertragen, mithin desto mehr gesteigert wird, je kleiner diese Oeffnung ist. Nach diesen Umständen hat man bei Anlegung von Springbrunnen sich zu richten. Um bei diesen die möglich größte Sprunghöhe und zugleich einen dicken Wasserstrahl zu erhalten, wende man eine cylindrische Ausflußröhre an und senke in dieselbe einen Kegel, mit der Spitze nach unten gekehrt, ein, welcher darin nur an 4 bis 6 Punkten befestigt ist. Man erhält so einen hohlen, dick erscheinenden Wasserstrahl von, seiner geringen Wassermenge entsprechender größerer Höhe.

112. Druck und Stoß des fließenden Wassers. Gesetzt, das Wasser fließe in einer horizontalen Röhre, so daß diese damit ganz angefüllt ist, es seien keine Bewegungshindernisse vorhanden und die oberste Wasserlinie (die oberste Linie oder Fläche der fließenden cylindrischen oder prismatischen Wassersäule) liege in einer Tiefe h unter dem Wasserspiegel des die Röhre speisenden Wasserbehältnisses; so fließt, wenn die Röhre an ihrem Ende ganz offen ist, das Wasser nach 3) S. 181 mit der Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gh}$ aus, ohne daß es gegen den obern Theil der Röhrenwand auch nur den geringsten Druck ausübt, so daß die Röhre eben so gut wie eine Rinne oder ein Kanal oben offen sein könnte. Wird aber das Ende der Leitungsröhre verschlossen, so erfährt (nach **103** u. **109**) jeder Punkt des Obertheils ihrer Wand von unten hinauf einen der Druckhöhe h entsprechenden Druck, so daß, wenn an irgend einem Punkt dieses Obertheils eine vertikale Röhre aufgesetzt würde, in dieser das Wasser bis zu einer mit dem Wasserspiegel im Behältnisse ganz gleichen Höhe emporsteigen müßte. Wird hingegen das Ende der Leitungsröhre nur zum Theil verschlossen (die vorige Ausflußöffnung nur verengt), so fließt das Wasser (unter der obigen Voraussetzung, daß von allen Hindernissen abgesehen wird) zwar wieder mit der vorn angegebenen Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gh}$ aus; aber in der Leitungsröhre selbst bewegt es sich jetzt mit geringerer Geschwindigkeit, z. B. v_1. Da diese einer kleinern Druckhöhe, z. B. h_1 entspricht, also nicht die Wirkung (der Druck) der ganzen Druckhöhe zur Erzeugung von Geschwindigkeit (von Bewegung) verwendet wird, so muß die dem Unterschiede $h-h_1$ der besagten Druckhöhen entsprechende Wirkung (d. i. jener Theil des Druckes der über die Leitungsröhre stehenden Wassersäule, welcher nach Abschlag des zur Erzeugung von Bewegung verwendeten, mithin in jeder andern Rücksicht wirkungslos gemachten Theils übrig bleibt) sich durch einen entsprechenden Druck auf alle Wände der Leitungsröhre, also auch auf die obere Wand (versteht sich, von unten hinauf) äußern. Offenbar muß dieser in gleicher Weise auch für nicht horizontale (geneigte) Leitungsröhren geltende, zuerst von Bernoulli aufgestellte und nachgewiesene Satz durch die in den Leitungsröhren immer stattfindenden, aus der Adhäsion, aus den Biegungen und Verengungen der Röhren u. s. f. entspringenden Hindernisse modifizirt, kann hiedurch in seiner Wesenheit jedoch nicht geändert wer-

den. Aus demselben folgt, daß, wenn fließendes Wasser ganz oder zum Theil angehalten wird, dasselbe auf die Wände der wie immer beschaffenen Leitung einen größern Druck übe, als während seiner frühern Bewegung, oder, allgemein gesprochen, daß der hydrostatische Druck (der Druck des ruhenden Wassers) immer größer sei, als der hydrodynamische (der Druck des sich bewegenden Wassers) . . . (†), worauf bei Bestimmung der Wandstärke der Wasserleitungsröhren u. dgl. Rücksicht zu nehmen ist.

In dem Satze (†) findet die Wirkung des von Montgolfier construirten Stoßhebers (hydraulischen Widders) ihre Erklärung. Es ist dies eine Wasserhebmaschine, die vorzüglich dort geeignet zu sein scheint, wo es sich, wie bei Bewässerung von Wiesen aus einem Bache von nicht unbedeutendem Gefälle u. s. w., darum handelt, eine beträchtliche Wassermenge auf eine verhältnißmäßig geringe Höhe zu heben. Sie hat im Ganzen seit ihrer Erfindung noch wenig Anwendung (am wenigsten in Deutschland, mehr noch in Frankreich und England) gefunden, und besteht in Wesenheit aus einer Röhre AB (Fig. 177), die, wenigstens gegen das eine

Fig. 177.



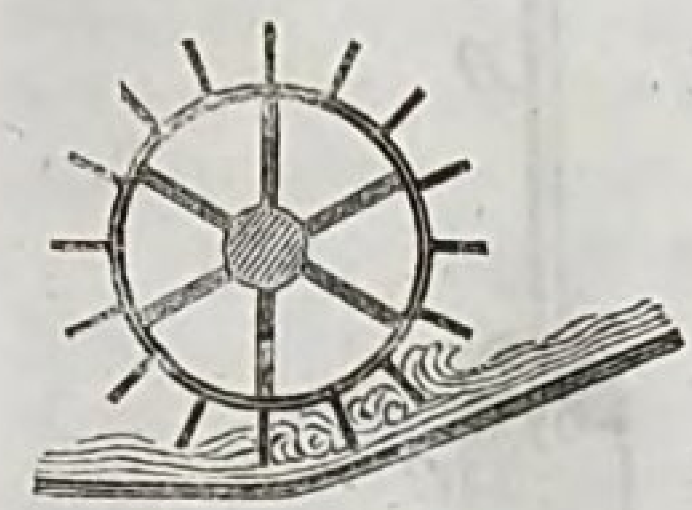
Ende B, horizontal ist und dort durch eine Klappe 1 mit einem Gefäße C communicirt, in welches luftdicht eine bis nahe an diese Klappe herabreichende Röhre D eingesetzt ist, ferner noch eine andere Klappe 2 enthält, die das Innere von AB mit der äußern Umgebung in Communication setzt. Tritt nun entweder aus einem Behälter E, wie in der Figur anschaulich gemacht ist, oder aus einem Bache von größerem Gefälle Wasser in die Röhre A und stößt dasselbe, mit einer gewissen Geschwindigkeit darin vorwärtsschreitend, an die Klappe 2, so schließt (hebt) es dieselbe, verliert dadurch seine Bewegung und übt nun, indem der hydrodynamische Druck in einen hydrostatischen übergeht (†), auf alle Theile der Wand von A, mithin auch auf die Klappe 1 einen größern Druck als vorher. In Folge dieses größern Druckes hebt es die Klappe 1 und dringt so lange in das luftenthaltende Gefäß C ein, als es die Ausdehnsamkeit der Luft (die, wenn das Wasser einmal die Mündung b der Röhre D passirt hat, in dem Gefäße C durch das eintretende Wasser immer mehr zusammengedrückt wird) und der Gegendruck des bereits eingedrungenen Wassers gestattet. Bei der jetzt nach dem Oeffnen der Klappe 1 wieder eingetretenen Bewegung des Wassers in A läßt auch der Druck dieses letzteren auf die Wände der Röhre A und auf die Klappen 1, 2 nach; diese können in Folge ihres Gewichtes wieder herabfallen (wobei sich 1 schließt, 2 aber öffnet und das Wasser aus A entweichen läßt). Da nun kein Wasser mehr in das Gefäß C eindringen kann, vermehrt sich wieder der Druck auf die Klappe 2, diese hebt und schließt sich wieder, dadurch wird das Wasser A abermals aufgehalten, der so vermehrte Druck vermag neuerdings die Klappe 1 zu öffnen und es dringt nun wieder Wasser nach C. So geht das Spiel der Klappen 1 und 2 abwechselnd fort, bis die Luft in C in einen hinreichend kleinen Raum zusammengedrückt ist, wo sie dann durch ihr Streben, sich zum ursprünglichen Volum auszudehnen (durch ihre Expansivkraft) endlich das Wasser durch die Röhre D in einen ununterbrochenen Strahl hinaustreibt.

Fließendes Wasser übt gegen die Fläche eines in demselben feststehenden Körpers einen Druck oder Stoß aus, der, wenn er nach einer auf die getroffene Fläche senkrechten Richtung erfolgt, (den Lehren der Mechanik zu Folge) dem Drucke einer Wassersäule gleichgesetzt werden kann, die zur Basis die gedrückte Fläche und zur Höhe jenen Raum hat, durch welchen das Wasser frei fallen müßte, um die Ge=

schwindigkeit zu erlangen, mit der es gegen die besagte Fläche trifft. Ist nämlich **B** die Größe der gedrückten Fläche, c die Geschwindigkeit des gegen diese Fläche sich bewegenden Wassers und g die Acceleration der Schwere, h der Raum, durch welchen das Wasser fallen müßte, um die Geschwindigkeit c zu erlangen, so folgt aus der Formel $c = \sqrt{2gh}$, $h = \frac{c^2}{2g}$, mithin hat der Wasserdruck gegen die Fläche **B** die Größe $G = B \cdot S \cdot h = B \cdot S \cdot \frac{c^2}{2g} \ldots (\dagger\dagger)$, wenn **S** das spezifische Gewicht (das Gewicht der Volumeinheit) des Wassers ist.

Erfolgt der Stoß des Wassers nicht in gegen die betreffende Fläche senkrechter, sondern schiefer Richtung, so kann die Geschwindigkeit des Wassers in zwei Componenten zerlegt werden, wovon die eine zur gestoßenen Fläche parallel ist, somit auf den Stoß keinen Einfluß nimmt, während die andere auf die besagte Fläche senkrecht wirkt und einen Stoß erzeugt, dessen Größe nach der eben aufgestellten Formel (††) bestimmt wird. Steht endlich die Fläche, gegen welche der Stoß des Wassers stattfindet, nicht fest, sondern weicht sie diesem Stoße mit einer Geschwindigkeit c_1 aus, welche kleiner ist als die Geschwindigkeit c des Wassers, so wird die Größe **G** des gegen die Fläche senkrechten Stoßes durch die Gleichung $G = \frac{B.S}{2g}(c^2 - c_1{}^2)$ ausgedrückt, worin **B**, **S**, g die oben angegebenen Bedeutungen haben und c, c_1 die Geschwindigkeiten in zur Fläche senkrechten Richtungen vorstellen.

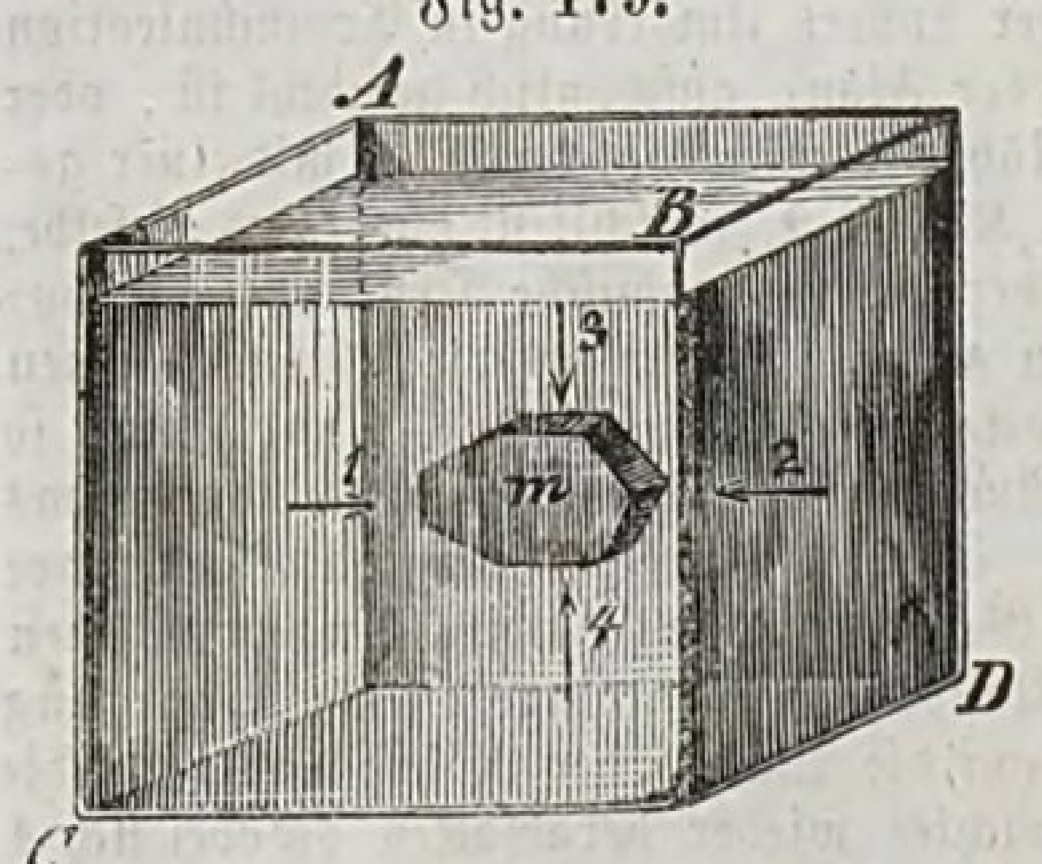
Fig. 178.



Auf dem Stoße des Wassers gegen ausweichende Flächen beruht die Wirkung der sogenannten unterschlächtigen Wasserräder. Man sieht eine Art unterschlächtiger Wasserräder in Fig. 178 abgebildet.

113. Druck einer ruhenden tropfbaren Flüssigkeit auf in dieselbe eingetauchte Körper. Sei ABCD (Fig. 179) ein, eine Flüssigkeit enthaltendes Gefäß und die Flüssigkeit in allen ihren Theilen vollkommen in Ruhe. Denkt man sich im Innern dieser Flüssigkeit einen wie immer begrenzten Theil m, so erfährt dieser durch die ihn ringsherum umgebende übrige Flüssigkeit einen Druck und zwar von oben nach unten durch die über ihn lagernde Flüssigkeitssäule, von unten hinauf und auf alle Seiten durch die angrenzenden Flüssigkeitstheilchen, die, der außerordentlich leichten Verschiebbarkeit wegen, dem Drucke der höher gelegenen Flüssigkeitstheilchen nach allen Richtungen auszuweichen suchen. Da nun der Flüssigkeitskörper m trotz dieser von allen Richtungen her auf ihn einwirkenden Druckkräfte dennoch in Ruhe bleibt, so muß die Wirkung aller dieser Kräfte aufgehoben werden. Dem Drucke, der auf irgend eine Seite von m (z. B. nach Pfeil 1) ausgeübt wird, muß durch einen gleichen Gegendruck (nach Pfeil 2) und der Kraft p, in Folge welcher der Körper m in der Richtung des Pfeiles 3 vertikal abwärts zu sinken sucht, muß durch eine im Sinne des vertikalen Pfeiles 4 von unten her auf m wirkende Kraft q das Gleichgewicht gehalten werden, und es muß, gemäß **57**, $q = p \ldots (1$ sein. Nun sucht aber der Körper m in Folge des Druckes a, den er von der über ihm liegenden Flüssigkeitssäule erfährt, und seines eigenen Gewichtes b zu sinken, so daß $p = a + b \ldots 2)$ mithin nach (1 auch $q = a + b$ ist, d. h. der Druck q, den der

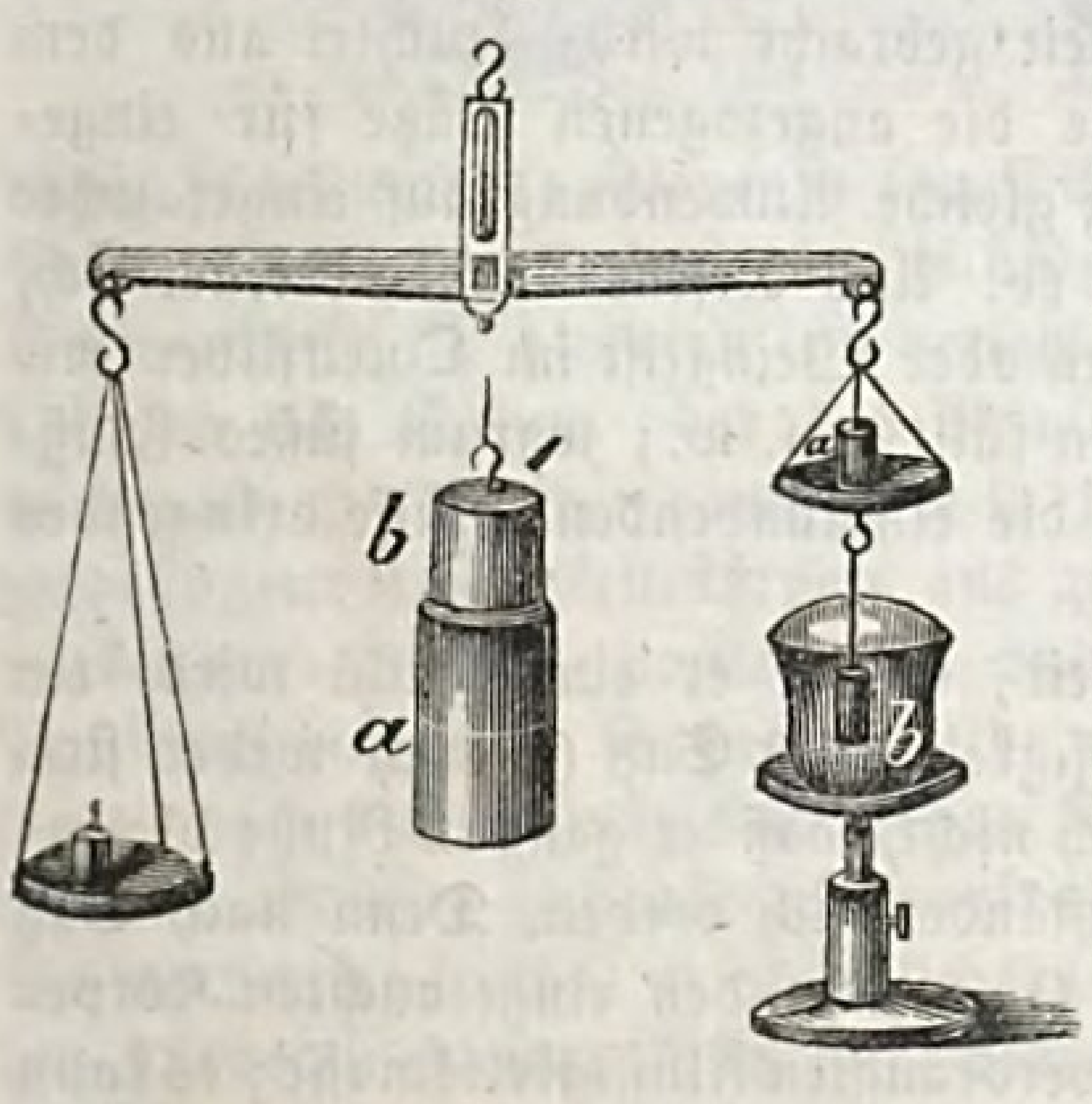
Fig. 179.



Flüssigkeitskörper m nach aufwärts erfährt, ist um das Gewicht b dieses Körpers größer als der Druck a, den er durch die übrige Flüssigkeit vertikal abwärts erleidet. Da das Gewicht b des Flüssigkeitskörpers m als eine von seinem Schwerpunkte (**64**) aus vertikal abwärts wirkende Kraft betrachtet werden kann (**65**) und da der aufwärts gerichtete Druck q auch diesem Gewichte das Gleichgewicht hält, so muß die Richtung dieses Druckes jener der Kraft (des Gewichtes) b entgegengesetzt sein, d. i. auch vertikal aufwärts und durch den Schwerpunkt des Flüssigkeitskörpers m gehen . . . (*). Das eben ermittelte Verhältniß der vertikal auf- und abwärts stattfindenden Druckkräfte a und q ändert sich aber offenbar nicht, wenn man sich an die Stelle des Wasserkörpers m irgend einen andern Körper gebracht denkt (denn es hängt dasselbe ja nicht von der Beschaffenheit des Körpers m, sondern nur von der denselben umgebenden Flüssigkeit, an welcher nichts geändert wird, ab); es folgt daher der allgemeine Satz: Jeder in einer tropfbaren Flüssigkeit untergetauchte Körper erfährt von derselben vertikal aufwärts einen Druck, welcher um das Gewicht der an der Stelle dieses Körpers Platz habenden Flüssigkeitsmasse größer ist als der Druck, den auf denselben die Flüssigkeit nach vertikal abwärts gehender Richtung ausübt... (**). Da dieser nach vertikal aufwärts gehender Richtung stattfindende Drucküberschuß nach (*) dem Gewichte des untergetauchten Körpers gerade entgegenwirkt, dasselbe daher aufheben oder wenigstens vermindern muß, so kann man den Satz (**) auch so aussprechen: Jeder in eine tropfbare Flüssigkeit untergetauchte Körper verliert so viel von seinem Gewichte, als die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmasse wiegt . . . . (77)

Man kann diesen nun durch Schlüsse außer Zweifel gestellten Hauptsatz der Hydrostatik, der nach seinem Entdecker Archimedes, der archimedische Fundamentalsatz genannt wird, auch auf experimentalem Wege in folgender Weise rechtfertigen. Man denke sich einen kleinen hohlen Cylinder a (Fig. **180**) aus Metall, z. B. aus Messing, in welchen ein derlei massiver Cylinder b so genau hineinpaßt, daß er dessen Höhlung vollkommen ausfüllt und sein Rauminhalt als dem hohlen Raume im Cylinder a an Größe ganz gleich angesehen werden kann. Hängt man nun den massiven Cylinder mittelst eines daran (etwa in einem Oehre 1) festgemachten feinen Drahtes oder hinreichend festen Fadens an der einen (an kürzeren Schnüren hängenden) Schale einer guten, empfindlichen Krämerwage und zwar am besten an einem Haken auf, der in der Mitte der untern Fläche dieser Schale angebracht ist (wie in Fig. **180**), stellt zugleich auf die nämliche Wagschale den hohlen Cylinder a, bringt nun durch Auflegen von Gewichten auf die zweite Wagschale die Wage ins Gleichgewicht, hierauf den Cylinder b, während er an der Wage hängt, so weit in irgend eine (ihn nicht angreifende) Flüssigkeit, daß diese seine oberste Fläche gerade bedeckt (dieses Eintauchen wird am besten durch entsprechendes Heben des die Flüssigkeit enthaltenden Gefäßes oder auch durch Herablassen des Wagebalkens, wenn die Einrichtung der Wage dies gestattet, bewerkstelligt). Bei diesem Eintauchen kömmt die Wage aus ihrer Gleichgewichtslage, indem die Schale mit den Cylindern steigt, zum Beweise, daß der eingetauchte Cylinder b von seinem Gewichte verloren haben müsse. Wird aber nachher der auf der Schale stehende hohle Cylinder a vorsichtig mit Flüssigkeit derselben Art, wie sie sich im Gefäße befindet, gerade ganz angefüllt, so stellt sich die vorige Gleichgewichtslage der Wage wieder her; das Gewicht der den Cylinder a ausfüllenden, mithin an Volum dem Cylinder b gleichen Flüssigkeitsmenge muß also gerade so viel betragen, als der Gewichtsverlust, den dieser Cylinder b beim Eintauchen erlitten hat.

Fig. 180.



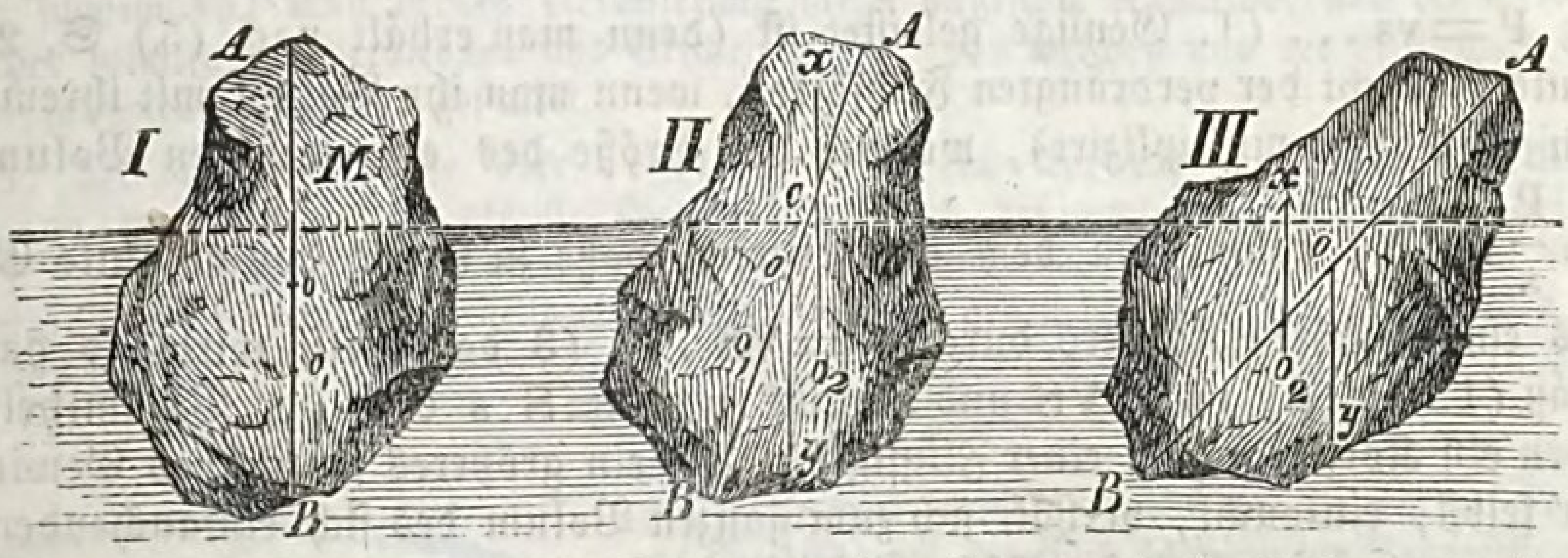
114. Verhalten der in ruhenden tropfbaren Flüssigkeiten eingetauchten Körper. Gemäß dem oben erwiesenen Satze (**) sucht jeder in eine tropfbare Flüssigkeit ganz eingetauchte Körper darin mit einer dem Gewichte der von ihm verdrängten Flüssigkeitsquantität gleichen Kraft Q in vertikaler Rich-

tung aufwärts zu steigen, während er vermöge seines eigenen Gewichtes **P** vertikal abwärts zu fallen strebt, befindet sich also unter dem gleichzeitigen Einflusse zweier, nach entgegengesetzten Richtungen wirkender Kräfte und muß der ihrem Unterschiede **P—Q** gleichen Resultirenden r folgen. Beträgt sein Gewicht **P** gerade so viel, als das Gewicht **Q** des von ihm verdrängten, also gleich großen Flüssigkeitsquantums, d. h. ist sein specifisches Gewicht jenem der Flüssigkeit gleich, so ist $P - Q = 0$; der Körper kann daher in der Flüssigkeit weder steigen noch sinken, sondern bleibt an dem Platze, zu welchem er eingetaucht worden, wie wenn er schwerlos wäre . . . (a, in Ruhe. Ein solches Verhalten zeigt z. B. im Wasser jedes beliebig große und wie immer gestaltete Stück einer Masse, die durch gleichförmiges Vermengen von 1 Gewichtstheil feingepulverten Zinnobers auf 226 Gewichtstheile weißen Wachses erhalten wird und ein gleiches spezifisches Gewicht mit dem Wasser hat. Ist hingegen **P** größer als **Q**, d. h. hat der eingetauchte Körper ein größeres spezifisches Gewicht als die Flüssigkeit, so folgt er der größeren Kraft **P**, sinkt also mit einer Kraft **P—Q** zu Boden . . . (b, wie dies ein Stück Eisen, Blei oder Stein u. s. w. im Wasser thut. Ist endlich **P** kleiner als **Q**, d. h. hat der eingetauchte Körper ein geringeres spezifisches Gewicht als die Flüssigkeit, so muß er der größern, vertikal aufwärts wirkenden Kraft **Q** folgen, also mit einer Kraft **Q—P** in der Flüssigkeit in die Höhe steigen . . . (c und zwar so lange, bis, indem er zum Theil über die Oberfläche der Flüssigkeit heraustritt, er nur mehr so weit eingetaucht ist, daß das Gewicht Q_1 der nun verdrängten kleineren Flüssigkeitsmenge seinem ganzen Gewichte, mithin die (dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit gleiche) Kraft $Q_1 = P$ wird, wo sich dann der Körper, wie unter (a gezeigt worden, verhält . . . (d. Dies ist z. B. bei Korkholz und andern Hölzern im Wasser, bei Eisen im Quecksilber u. s. w. der Fall. Daß die Sätze (a, (b, (c in gleicher Weise gelten, wenn in eine tropfbare Flüssigkeit anstatt eines festen Körpers eine andere, mit ihr sich nicht chemisch verbindende tropfbare oder ausdehnsame Flüssigkeit gebracht wird, leuchtet aus dem Umstande ein, daß die Schlüsse, durch welche die angezogenen Sätze für eingetauchte feste Körper nachgewiesen wurden, ganz gleiche Anwendung auf eingetauchte tropfbare oder ausdehnsame Körper leiden . . . (e. Aus diesem Grunde erklärt sich, warum Oel oder Luftblasen im Wasser, Wasser oder Weingeist im Quecksilber emporsteigen, dieses im Wasser hingegen zu Boden fällt u. s. w.; warum süßes Flußwasser im Meere oben und aus dem Meere in die einmündenden Flüsse dringendes Meerwasser im Flußwasser unten sich hält.

Wenn ein Körper, der mit der Flüssigkeit, in die er eingetaucht wird, ein gleiches spezifisches Gewicht hat, in dieser Flüssigkeit nach Satz (a auch weder steigen noch fallen kann, so folgt daraus doch noch nicht, daß er ganz in Ruhe bleibe; er kann, ja muß vielmehr unter gewissen Umständen sich drehen. Denn nach Satz (*) auf S. 187 geht die Richtung der Kraft **Q**, welche den eingetauchten Körper nach aufwärts treibt, durch den Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeitsmasse; es kann daher dieser Schwerpunkt als Angriffspunkt der vertikal aufwärts wirkenden Kraft **Q** angesehen werden, während das Gewicht **P** des eingetauchten Körpers, d. i. die ihn vertikal abwärts ziehende Kraft den Angriffspunkt im Schwerpunkte dieses Körpers hat, so daß diese beiden gleichen Kräfte sich nur dann das Gleichgewicht halten können, der eingetauchte Körper somit nur dann ganz in Ruhe bleiben kann, wenn ihre entgegengesetzten Richtungen in eine und dieselbe senkrechte Linie fallen, was nur stattfindet, wenn die Schwerpunkte des eingetauchten Körpers und der verdrängten Flüssigkeit in der nämlichen Vertikallinie liegen. Wird daher in eine Flüssigkeit ein Körper eingetaucht, der mit ihr ein gleiches spezifisches Gewicht hat, und die eben ausgesprochene Bedingung ist nicht erfüllt, so muß er sich, wenn ihn nicht irgend ein Widerstand, z. B. die Zähigkeit des flüssigen Körpers, daran hindert, so lange drehen, bis dieser Bedingung Genüge geleistet ist, wo dann Gleichgewicht herrscht,

oder, wie man sich gewöhnlich auszudrücken pflegt, der Körper **schwimmt**. Soll dieses Gleichgewicht noch überdies ein **stabiles** sein, d. h. der eingetauchte Körper die angenommene Lage mit Stabilität behaupten (**69**), so muß für den Fall, daß der **ganze** Körper eingetaucht ist (in der Flüssigkeit schwimmt), überdies noch dessen Schwerpunkt **unter** dem Schwerpunkte der verdrängten Flüssigkeit liegen: denn nur dann wird dieser Körper, wenn man ihn durch Drehen aus seiner Lage verrückt, immer wieder in diese Lage, bei welcher sein Schwerpunkt die tiefste Stelle einnimmt, zurückkehren, indem nur in diesem Falle die Kräfte, welche stets nach vertikalen und entgegengesetzten Richtungen auf die beiden Schwerpunkte wirken, die aus ihrer lothrechten Stellung verrückte Verbindungslinie dieser Schwerpunkte wieder in diese ursprüngliche Stellung zurückzuführen suchen. Ist der Körper in der Flüssigkeit nur zum Theile eingetaucht (schwimmt er **auf** der Flüssigkeit), so besitzt er aus dem nämlichen Grunde, wie im vorigen Falle, immer Stabilität, wenn sein Schwerpunkt unter jenem der verdrängten Flüssigkeit liegt. Doch läßt sich aus dem Stattfinden des entgegengesetzten Falles, daß nämlich der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit die tiefere Lage hat, noch nicht auf die Nichtstabilität der Lage des eingetauchten Körpers schließen. Sei (in Fig. 181) **M** der

Fig. 181.



ruhig schwimmende Körper, o sein Schwerpunkt und o_1 der senkrecht darunter liegende Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit. Bringt man den Körper durch eine kleine Schwankung, in die man ihn versetzt, aus der Lage **I** in eine andere Lage, so daß dadurch das Volum oder das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit nicht geändert wird und es schneidet dann, wie in der Lage **II**, die vom Schwerpunkt o_2 des jetzt verdrängten Flüssigkeitskörpers aus gezogene, senkrechte, die Richtung des aufwärts wirkenden Druckes vorstellende Linie o_2x die Verbindungslinie **AB** der beiden Punkte o, o_1 in c, so suchen beide auf o_2 und o wirkenden Kräfte, d. i. der besagte, nach o_2x aufwärts wirkende Druck und die von o aus den Körper nach oy vertikal abwärts ziehende Schwerkraft, die (verlängerte) Verbindungslinie **AB** der Schwerpunkte in ihre ursprüngliche, lothrechte Lage zurückzuführen, folglich schwimmt der Körper in diesem Falle mit Stabilität. Wird aber der schwimmende Körper so verrückt, daß, wie in dem bei **III** anschaulich gemachten Fall, nach der Verrückung der aufwärts gerichtete Druck o_2x und die abwärts ziehende Schwere oy die besagte Verbindungslinie **AB**, anstatt sie in ihre vorige lothrechte Stellung zurückzuführen, vielmehr noch weiter von dieser Stellung abzubringen streben; so sucht der schwimmende Körper, nachdem die Kraft, die ihn aus seiner ursprünglichen Lage herausdrehte, zu wirken aufgehört hat, nicht mehr in diese Lage zurückzukehren, sondern sich immer weiter von derselben zu entfernen; er schwimmt daher nicht mit Stabilität. Eben so wenig besitzt der schwimmende Körper Stabilität, wenn sein Schwerpunkt und der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit in einen Punkt zusammenfallen, indem der in eine Schwankung versetzte Körper auch in diesem Falle nicht in seine vorige Lage zurückkehrt. Da er sich aber auch nicht weiter aus dieser Lage zu entfernen sucht, also auch nicht **labil** ist, so kann man das Gleichgewicht,

bei welchem die beiden oft erwähnten Schwerpunkte zusammenfallen, ein indifferentes nennen. Da man den oben mit c bezeichneten Punkt, in welchem die durch den Schwerpunkt (o_2) der verdrängten Flüssigkeit vertikal aufwärts gezogene Linie (o_2x) die (aus ihrer Richtung verschobene) vertikale Verbindungslinie (**AB**) dieses Schwerpunktes und des Schwerpunktes (o) des schwimmenden Körpers durchschneidet, das Metacentrum dieses Körpers heißt, so kann man sagen: ein in einer Flüssigkeit nur zum Theil eingetauchter Körper schwimmt nur dann mit Stabilität, wenn sein Schwerpunkt unter seinem Metacentrum liegt . . . (80)

115. Weitere Folgerungen und Anwendungen der Sätze bezüglich des Gewichtsverlustes der Körper in tropfbaren Flüssigkeiten. Nach Satz (d auf S. 88 kann sich von irgend einem Körper, dessen absolutes Gewicht **P** und dessen ganzes Volum **V** sein mag, in eine Flüssigkeit, deren spezifisches Gewicht s größer ist, als sein eigenes spezifisches Gewicht **S**, nur ein Volumtheil v eintauchen, und zwar kann die Eintauchung nur so weit gehen, bis ein Flüssigkeits-Volum verdrängt worden, dessen absolutes Gewicht dem absoluten Gewichte des eingetauchten Körpers gleich ist. Es wird also, da das Volum der verdrängten Flüssigkeit offenbar eben so groß ist, wie der Volumtheil v, um welchen sich der Körper eintaucht, dieser sich so weit eintauchen, bis der Gleichung $P = vs$ ... (1. Genüge geleistet ist (denn man erhält nach (5) S. 29 das absolute Gewicht der verdrängten Flüssigkeit, wenn man ihr Volum mit ihrem spezifischen Gewichte multiplizirt), woraus die Größe des eingetauchten Volumtheils

$v = \frac{P}{s}$ ... (2 folgt. Da dem eben citirten Satze zu Folge das absolute Gewicht **P** des eingetauchten Körpers durch $P = VS$ ... (3 dargestellt wird, so hat man [gemäß (1 und (3] $vs = VS$ und hieraus $v : V = S : s$ d. h. der Volumtheil, um welchen ein Körper sich in einer Flüssigkeit, die ein größeres spezifisches Gewicht hat als er selbst, eintaucht, verhält sich zum ganzen Volum des sich eintauchenden Körpers wie umgekehrt das spezifische Gewicht dieses letzteren zum spezifischen Gewicht der betreffenden Flüssigkeit. Ein Körper wird daher in einer spezifisch schwereren Flüssigkeit desto tiefer einsinken, je mehr sein spezifisches Gewicht jenem der Flüssigkeit gleichkömmt . . . . (80)

Läßt man einen und denselben Körper, der das absolute Gleichgewicht **P**, das spezifische Gewicht **S** und das Volum **V** hat, in zwei verschiedene Flüssigkeiten sich eintauchen, deren jede spezifisch schwerer ist als er selbst, und welche die spezifischen Gewichte **s** und s_1 haben, und stellen **v** und v_1 die Volumtheile vor, um welche er in der einen und in der andern Flüssigkeit einsinkt, so ist, aus den für die Gleichung (2 angegebenen Gründen, $v = \frac{P}{s}$ und $v_1 = \frac{P}{s_1}$, mithin

$v : v_1 = \frac{1}{s} : \frac{1}{s_1} = s_1 : s$, d. h. die Volumtheile, um welche sich ein und derselbe Körper in zwei verschiedenen, im Verhältniß zu ihm spezifisch schwereren Flüssigkeiten eintaucht, verhalten sich umgekehrt wie die spezifischen Gewichte dieser Flüssigkeiten . . . . (81)

Endlich wollen wir noch untersuchen, wie zwei verschiedene Körper in Rücksicht ihrer absoluten Gewichte beschaffen sein müssen, damit sie in zwei verschiedenen, gegen sie spezifisch schwereren Flüssigkeiten sich um einen gleich großen Volumtheil eintauchen. Stellen **P** und P_1 die (vorläufig noch als unbekannt anzusehenden) absoluten Gewichte dieser Körper, **s** und s_1 die spezifischen Gewichte der Flüssigkeiten und **v** den Volumtheil vor, um welchen jeder der besagten Körper in den betreffenden Flüssigkeiten einsinken soll, so hat man (wieder aus den oben unter (2 ange-

führten Gründen) $v=\frac{P}{s}$ und $v=\frac{P_1}{s_1}$ und hieraus $\frac{P}{s}=\frac{P_1}{s_1}$ oder $P:P_1=s:s_1$, d. h. sollen zwei verschiedene Körper in zwei verschiedenen, spezifisch schwereren Flüssigkeiten zu gleich großem Volum eintauchen, so müssen die absoluten Gewichte dieser Körper sich gerade so verhalten, wie die spez Gewichte der Flüssigkeiten...(82) Es leuchtet ein, daß dieser Satz auch auf den Fall Anwendung leidet, wo verlangt wird, daß ein und derselbe Körper vom absoluten Gewicht **P** nach einander in zwei verschiedenen Flüssigkeiten von den spezifischen Gewichten s und s_1 um einen gleichen Theil v seines Volums einsinke. Er muß zu diesem Ende offenbar durch Umänderung seines Gewichtes **P** gleichsam zu einem andern Körper vom Gewichte P_1 gemacht werden, so daß $P : P_1 = s : s_1$ ist, d. h. soll sich irgend ein Körper, der in einer Flüssigkeit um einen bestimmten Theil seines Volums einsinkt, in einer andern Flüssigkeit eben so tief eintauchen, so muß er ein Gewicht erhalten, welches sich zu seinem ursprünglichen Gewichte eben so verhält, wie das spezifische Gewicht der letzteren zum spezifischen Gewichte der ersteren Flüssigkeit . . . . . . (83)

Auf dem unter (c, (d und (e in **114** erwiesenen Satze, daß jeder Körper in einer gegen ihn spezifisch schwereren tropfbaren Flüssigkeit mit einer gewissen Kraft in die Höhe steigen und aus der Flüssigkeit mehr oder weniger hervortreten (auf derselben, nur zum Theil eingetaucht, schwimmen) muß, beruht die Wirkung vieler nützlicher Apparate, und die Erklärung zahlreicher wichtiger Operationen und Erscheinungen, von welchen uns der beschränkte Raum hier nur folgende anzuführen gestattet.

1. Die Wasserwage oder Libelle, d. i. ein Apparat, welcher zur Untersuchung, ob eine Ebene, ob gewisse Gegenstände nach bestimmten Richtungen horizontal sind u. s. f., oder dazu dient, eine Ebene, irgend ein Instrument oder Theile desselben in eine horizontale oder überhaupt in irgend eine bestimmte Lage gegen den Horizont zu bringen. Sie besteht aus einer cylindrischen Glasröhre ab (Fig. 182), die bis auf einen ganz kleinen Theil c ihres Rauminhaltes, worin in Gestalt einer Blase Luft zurückbleibt, mit Weingeist angefüllt ist. Die Luftblase muß zu Folge der Kraft, durch die sie (nach c) S. 188) im spezifisch schwereren Weingeist emporgetrieben wird, darin immer jenen Platz einnehmen, der in Bezug auf den Horizont der Höchste ist. Hat nun die Röhre eine geringe Krümmung nach oben, so ist offenbar jene Stelle die höchste, deren Tangente horizontal oder deren Krümmungshalbmesser vertikal ist. Wenn daher die Blase an irgend einer Stelle der Röhre ruht, so ist eine zur Mitte o der Blase an der innern Röhrenwand gezogene Tangente jedesmal horizontal. Die vorerwähnte Krümmung der Röhre nach oben ist deswegen nothwendig, weil es sonst bei horizontaler Lage der Röhre keinen höchsten Punkt gebe, die Luftblase demnach an jeder Stelle der oberen Röhrenwand stehen bleiben und bei jeder Neigung der Röhre sich immer bis an das höher gelegene Ende derselben bewegen müßte. Die Krümmung darf nur gering (der Krümmungshalbmesser muß groß) sein, wenn die Libelle empfindlich sein, d. h. sehr geringe Aenderungen in ihrer Stellung anzeigen soll. Uebrigens ist die Libelle desto empfindlicher (die Blase desto beweglicher), je glatter im Innern die Röhrenwand ist, weßwegen zu Libellen, welche sehr genaue Einstellungen, wie sie bei astronomischen, physikalischen oder andern Meßinstrumenten erforderlich sind, gestatten sollen, nur innerlich auf das Genaueste ausgeschliffene Röhren verwendet werden dürfen. Dieses Ausschleifen hat aber nicht allein den Zweck, durch Entfernung aller Unebenheiten die Blase beweglicher zu machen, sondern auch der Röhre eine bestimmte gleichförmige Krümmung, mithin der Libelle einen bestimmten Grad der Empfindlichkeit zu geben. Bei jeder Libelle ist oben auf der Glasröhre der Punkt bezeichnet, bei welchem die Mitte der Blase stehen muß, wenn sie in der Röhre den höchsten Stand hat. Zum Behufe sicherer Beurtheilung dieses Standes befinden sich zu beiden Seiten des besagten Punktes, der dann mit 0 (Null) bezeichnet ist, noch einige unter einander gleichweit abstehende Theilstriche. Man wird dann überzeugt sein können, daß die Blase genau in der Mitte stehe, wenn sie auf beiden Seiten des 0 Punktes gleichviele Theilstriche bedeckt. Sehr oft ist, wie Fig. 183 zeigt, die meistens messingene Fassung der Libelle unten mit einer ebenen Fläche ab versehen, so daß, wenn

Fig. 182.

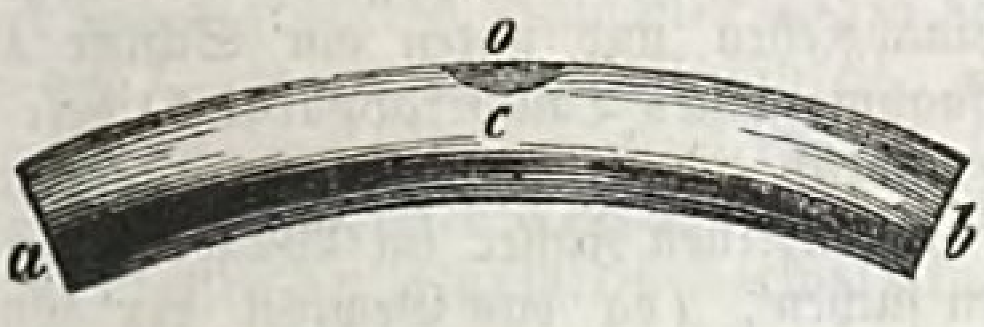
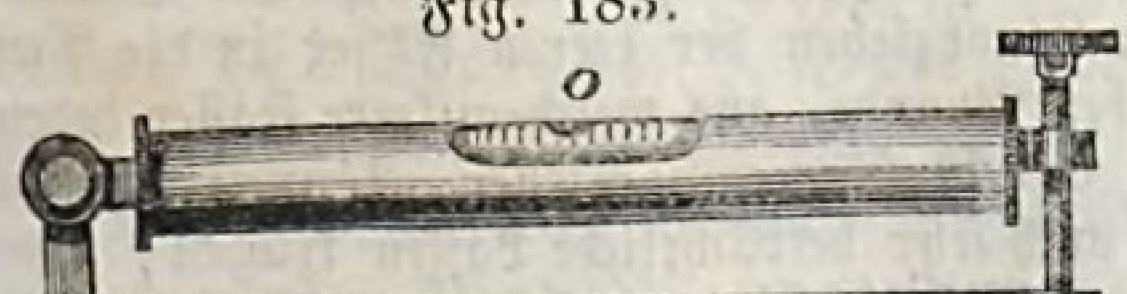


Fig. 183.



diese Fläche eine horizontale Lage hat, die Mitte der Blase beim Nullpunkte einspielt. Findet dieses Einspielen der Blase jedesmal genau statt, wenn man die Libelle nach zwei auf einander senkrechten Richtungen auf eine Ebene stellt, so ist diese Ebene horizontal. Bei Nivellir-Instrumenten ist die Libelle immer so festgemacht, daß die vorbesagte Tangente des o Punktes zur Visirlinie, die im Horizont liegen soll, parallel ist.

2. Es erklärt sich ferner das Schwimmen von Körpern aus Stoffen, die spezifisch schwerer sind als die Flüssigkeit, in welche sie getaucht werden, wenn man einem solchen Körper bei bestimmter Masse durch Aushöhlen, Austreiben u. s. w. ein so großes Volum gibt, daß ein gleiches Volum der betreffenden Flüssigkeit eben so viel oder mehr wiegt, als dieser Körper. Im ersteren Falle schwimmt er in der Flüssigkeit, ganz untergetaucht, wohin man ihn in derselben auch immer stellt (weil die dem Gewichte des verdrängten Flüssigkeits-Volums gleiche Kraft, welche ihn in der Flüssigkeit nach aufwärts treibt, das nach abwärts ziehende Gewicht des Körpers gerade aufhebt); im letzteren Falle schwimmt er, nur zum Theile eingetaucht, auf der Flüssigkeit, weil die ihn aufwärts drückende, dem Gewicht des unter seinem Volum Platz habenden Flüssigkeitsquantums gleiche Kraft nun größer ist, als das Gewicht des Körpers, das ihn abwärts zieht. Durch diesen Ueberschuß an aufwärts drückender Kraft kann sogar noch eine dem eingetauchten Körper aufgebürdete Last, wenn ihre Größe die Größe dieses Ueberschusses nicht überschreitet, mit dem eingetauchten Körper in der Flüssigkeit schwebend erhalten, und wenn die Last den besagten Kraftüberschuß nicht ganz erreicht, mit dem Körper in der Flüssigkeit emporgetrieben und auf derselben schwimmen gemacht werden. Hieraus erklärt sich die Möglichkeit, hölzerne Schiffe mit sehr großen Mengen von Materialen zu beladen, die spezifisch schwerer sind als das Wasser; die Möglichkeit, die Schiffe selbst aus Eisen zu bauen und noch mit beträchtlichen Ladungen zu versehen; die Möglichkeit, in die Tiefe des Meeres oder eines Flusses versunkene Schiffe oder andere Gegenstände mittelst leerer Fässer oder derlei hohler Körper von passender Beschaffenheit wieder zu Tage zu fördern. Wäre z. B. A (Fig. 184) ein leck gewordenes und versunkenes Schiff und man würde von einem über demselben vor Anker gelegten zweiten Schiffe oder von einer Plette aus, etwa mittelst einer Winde und an dem versunkenen Schiff angebrachter Rollen, nach und nach eine hinreichende Anzahl leerer, wohlverspundeter Fässer in die Tiefe des Wassers hinabziehen und unten am Schiffe A (unter zu Hülfnahme eines Taucherapparates) befestigen, so wird endlich die Summe der bedeutenden Kräfte, womit die einzelnen Fässer im Wasser in die Höhe zu steigen suchen, (da das Gewicht der von jedem Fasse verdrängten Wassermasse das Gewicht des Fasses vielmal übertrifft) groß genug werden, um das ganze Schiff mit emporzuziehen. Anstatt leerer Fässer können zu demselben Zwecke (nach Austin's Vorschlag) auch große luft- und wasserdichte Säcke angewendet werden, welche aus doppelten Blättern von starkem Kanevaß mit einer Zwischenlage von Caoutchouc bestehen, und deren jeder, nachdem er im zusammengelegten Zustande durch ein angehängtes Gewicht (etwa das Gewicht eines Steines) in die Tiefe des Wassers versenkt worden, sich von der Wasseroberfläche aus dadurch mit Luft aufblasen läßt, daß man über einer Oeffnung desselben, die mit einer von innen nach außen sich schließenden Klappe a (Fig. 185 einen solch halb aufgeblasenen Sack vorstellend) versehen ist, das eine Ende eines biegsamen, aus gleichem Materiale wie die Säcke bestehenden Schlauches festschraubt, während das andere Ende desselben mit einer über dem Wasser auf einer Barke oder einem andern Fahrzeug befindlichen Druckpumpe in Verbindung steht. Werden mehrere solche Säcke an dem empor zu hebenden Schiff oder dgl. befestigt und dann einer nach dem andern aufgeblasen, so kann durch ihre Steigkraft selbst das größte Schiff aus der Tiefe gehoben werden. Die Anwendung solcher Säcke macht den Kraft- und Zeitaufwand entbehrlich, der zum Hinabziehen der leeren Fässer in die Tiefe erforderlich ist. Aus demselben Grunde, aus welchem leere Fässer bedeutende Lasten aus der Tiefe des Wassers emporziehen, können sie, auf dem Wasser schwimmend, auch sehr beträchtliche Lasten tragen, ohne unterzusinken, worauf sich die Möglichkeit gründet, aus ihnen, so wie aus Schiffen, Brücken zu bauen. Ganz so wie das Schwimmen unse-

Fig. 184.

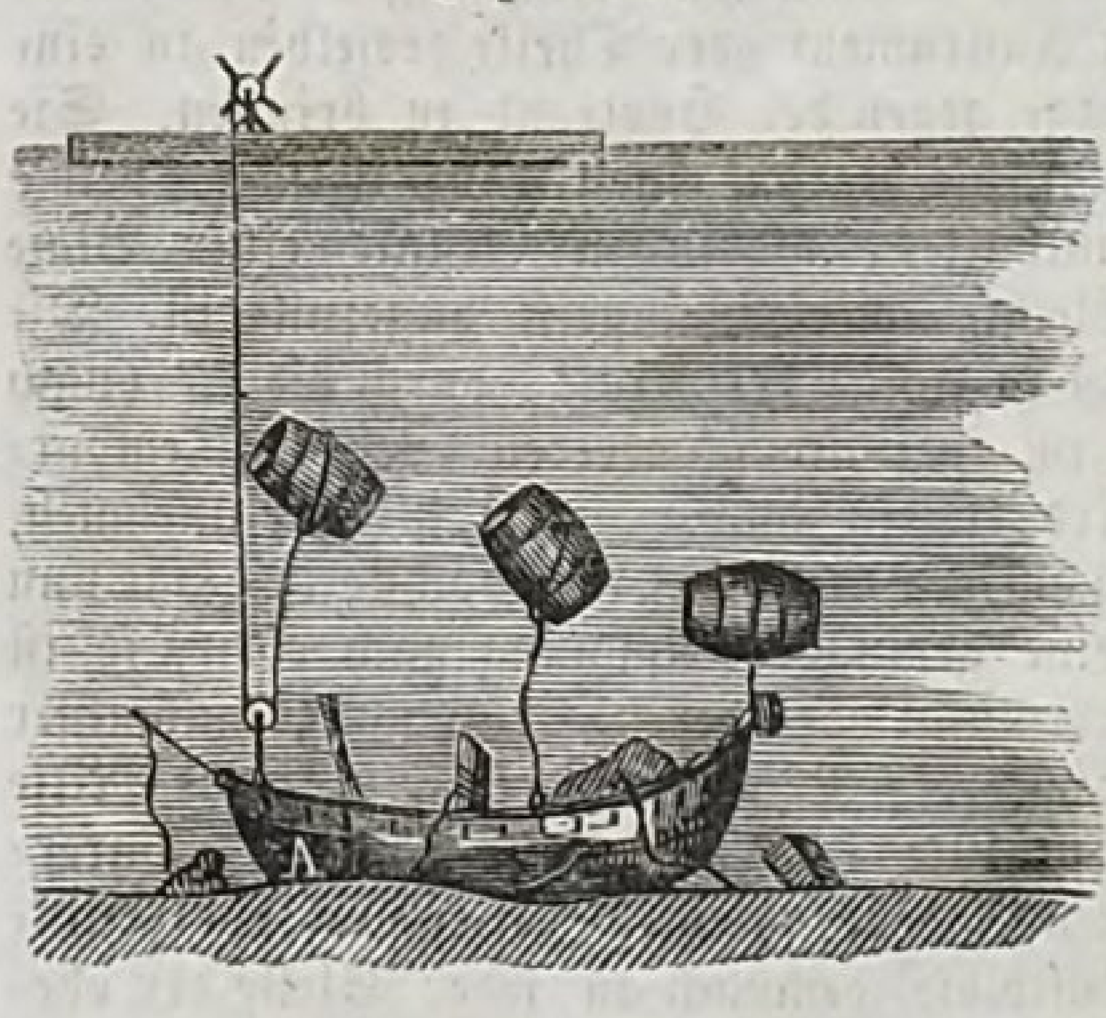
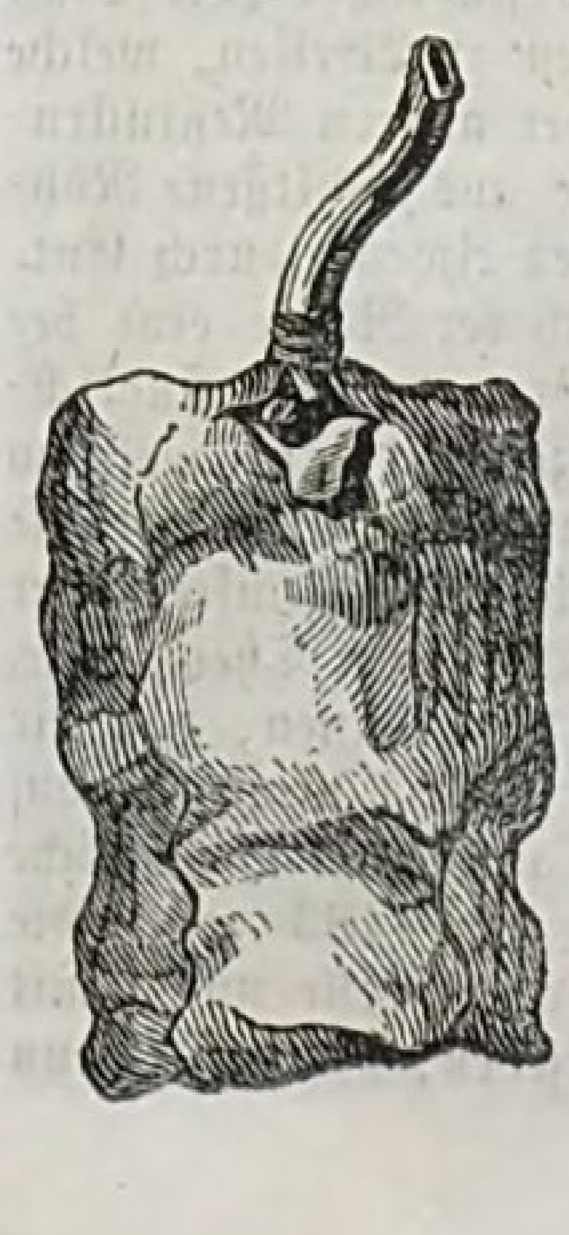


Fig. 185.



rer eisernen Schiffe auf dem Wasser, erklärt sich die Wirkung der sogenannten Schwimmer, d.i. kugelförmig oder wie immer anders gestalteter hohler Körper aus Metall, die auf der Oberfläche des Wassers schwimmen und, indem sie mit dieser Oberfläche steigen und sinken und selbst durch einen bedeutenden Widerstand nicht unter dieselbe hinab gedrückt werden können, Ventile, Rollen oder andere Mechanismen in Bewegung setzen. Wir werden die Wirkung der Schwimmer später, nämlich bei den Dampfmaschinen, näher kennen lernen.

Daß man Körper, die spezifisch schwerer sind als Wasser, in diesem schwimmen machen kann, wenn man sie mit im Verhältniß zum Wasser spezifisch leichteren Körpern verbindet, ist aus den vorstehenden Betrachtungen nun für sich klar. Darauf beruht die Anwendung der sogenannten Schwimmgürtel, Schwimmpanzer u. dgl., d. i. Gürtel aus Korkholzstücken, aus mit Luft gefüllten Kautschuckschläuchen u. dgl., welche des künstlichen Schwimmens nicht kundige Leute um die Mitte des Leibes befestigen, oder flache hohle blecherne Gefäße, welche sie in Gestalt eines Brust- und Rückenpanzers am Oberleibe festschnallen, um sich so, z. B. bei Verunglückung des Schiffes auf einer Wasserfahrt, auf dem Wasser zu erhalten und zu retten. Beim Gebrauche dieser und anderer ähnlicher Rettungsapparate ist natürlich immer wohl für eine solche Anbringung des Rettungsapparates am menschlichen Körper zu sorgen, daß der Gesammtschwerpunkt dieses Körpers und des Apparates unter das Matacentrum falle, weil sonst nach (80) S. 192 der schwimmende Mensch im Wasser keine Stabilität besitzt, somit bei der geringsten (etwa durch Wasserwellen ꝛc.) bewirkten Neigung seines Körpers aus der vertikalen Stellung ganz umschlagen, d. i. mit dem Kopf zu unterst kommen müßte. Aus gleichem Grunde sind beim Beladen der Schiffe die Lasten immer so zu vertheilen (die schwerern nach unterst anzuordnen), daß der Schwerpunkt des Schiffes sammt der Ladung unter das Metacentrum zu liegen komme.

Endlich muß hier noch eine Methode, Körper, die spezifisch schwerer sind als Wasser, in diesem schwimmen zu machen, angeführt werden. Sie besteht in der Zertheilung der betreffenden Körper in Theile von solcher Kleinheit, daß diese durch ihr geringes Gewicht die Cohäsion der Wassertheilchen nicht zu überwinden im Stande sind, mithin schwebend erhalten werden müssen. Während so die feinsten leichtesten Theilchen eines durch Zerreiben, Zerstoßen oder dergl. verkleinerten und in einer ihn nicht angreifenden Flüssigkeit (z. B. durch Einrühren in dieselbe) gleichmäßig vertheilten Körpers schweben bleiben, fallen die gröberen und schwereren Theile darin zu Boden und thun dies desto schneller, je gröber und schwerer sie sind (je leichter sie daher ihres größeren Gewichtes wegen die Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen überwinden können), so daß — wenn man die Flüssigkeit, nachdem sich der erste Bodensatz gebildet hat, von diesem in ein anderes Gefäß abgießt oder ablaufen läßt, hier die Bildung eines neuen, schon aus feineren und leichteren Theilchen bestehenden Bodensatzes abwartet, dann das Abgießen oder Ablaufenlassen der Flüssigkeit abermals in ein anderes Gefäß wiederholt, neuerdings einen Bodensatz, der natürlich aus noch feineren Theilchen als der zweite bestehen wird, sich bilden läßt und mit dieser Manipulation so lange fortfährt, als sich noch Theilchen aus der Flüssigkeit absetzen, oder als es nach dem Zweck dieser Manipulation, welche das Schlemmen genannt wird, nöthig oder wünschenswerth ist, — man die Theilchen von verschiedenem Grad der Feinheit oder Schwere von einander abgesondert erhält. Durch einen solchen Schlemmprozeß werden aus in eigenen Stampfwerken pulverisirtem und vorläufig gesiebtem Schmirgel die verschiedenen gröbern und feinern Schmirgelsorten erhalten, die man zum Schneiden und Schleifen der Edelsteine, zum mehr oder weniger Feinschleifen der Glas- und Metallwaaren u. s. w. anwendet. Die Operation des Schlemmens, mittelst der sogenannten Schlemmgräben (Behälter für die vorbesagten Bodensätze), dient in der Metallurgie dazu, aus den gepochten Erzen (dem sogenannten Pochmehl) die tauben, d. i. kein Erz enthaltenden Theile der Gebirgsart von den Erz führenden und unter diesen wieder die an Erz reichern, somit schwerern von den ärmern, leichtern Theilen zu scheiden u. s. w.

116. Bestimmung des spezifischen Gewichtes tropfbarflüssiger und fester Körper mittelst der hydrostatischen Wage.

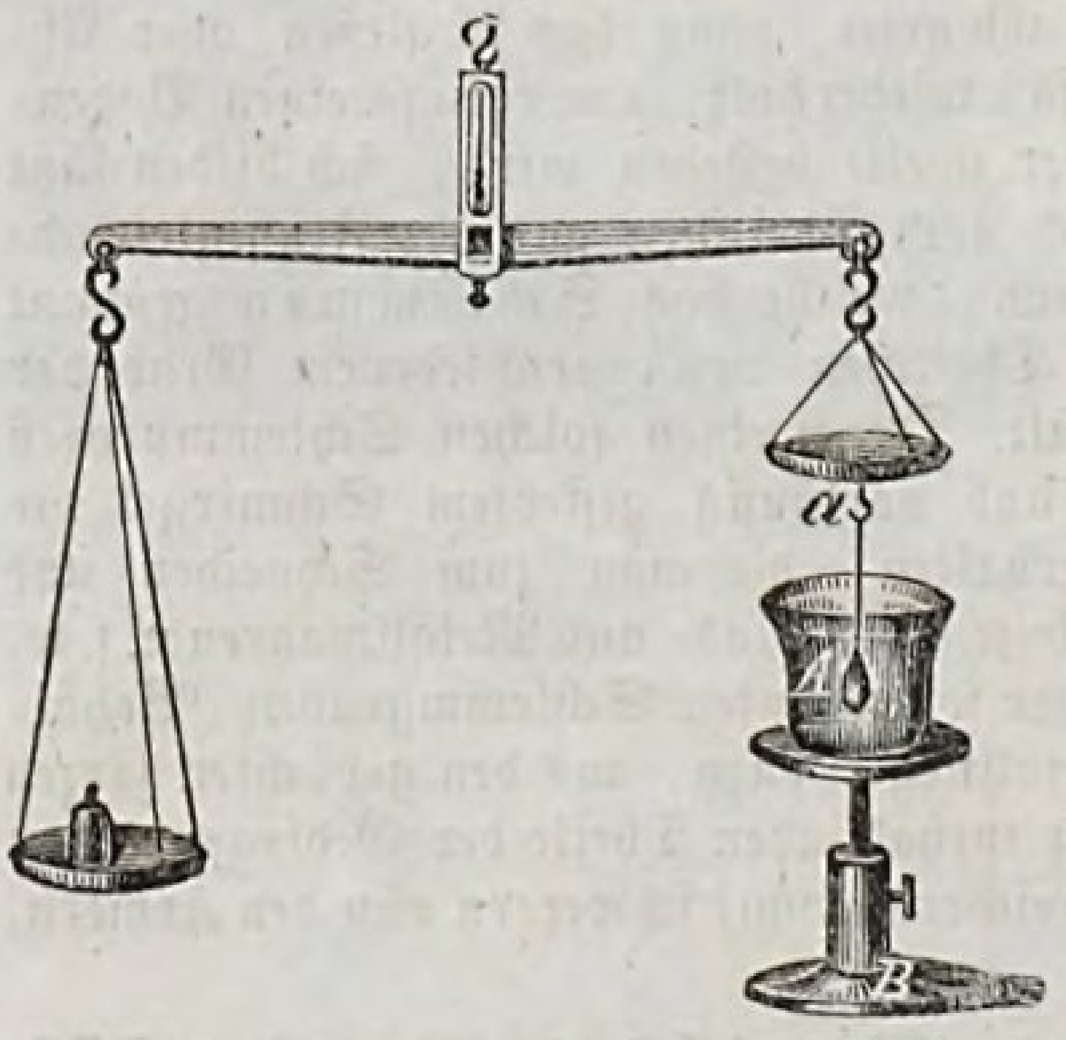
Diese Bestimmung gründet sich auf den S. 187 erwiesenen Satz (77), daß ein jeder in eine tropfbare Flüssigkeit eingetauchte Körper so viel von seinem Gewichte verliert, als der von ihm verdrängte Flüssigkeitskörper wiegt.

1. Bestimmung des spezifischen Gewichtes in eigentlichem Sinne des Wortes, d. i. des Gewichtes eines Körpers unter dem Volum = 1 (**16**). Ist das spezifische Gewicht des reinen destillirten Wassers von 3° **R.** bekannt, so ergibt sich die Bestimmung dieses Gewichtes der andern Körper von selbst. Eine der genauesten Methoden, das Gewicht einer Volumeinheit, z. B. eines Kubikzolles solchen Wassers zu bestimmen, ist jene, welche Stampfer befolgte, und die

der Wesenheit nach in Folgendem besteht. Es wird ein metallener (messingener) Cylinder vollkommener Gestalt verfertigt (man sehe 1., 2. und 3. S. 133 und 134), aus dem Durchmesser und der Höhe desselben, welche mit möglichster Sorgfalt gemessen werden, der Rauminhalt v dieses Cylinders in Kubikzollen berechnet, der Cylinder hierauf in das besagte Wasser getaucht, das Gewicht bestimmt, welches er hierbei verliert, nun dieser Gewichtsverlust, d. i. (nach dem eben vorher citirten Satze) das Gewicht eines Wasserkörpers, der mit dem Metallcylinder ein ganz gleich großes Volum v hat, durch das in Kubikzollen ausgedrückte Volum v dividirt und so das Gewicht eines Kubikzolles, d. i. das spezifische Gewicht des Wassers erhalten. Auf diesem Wege hat Stampfer unter sorgfältigster Berücksichtigung aller Umstände, welche auf die Genauigkeit einer solchen Bestimmung nur irgend Einfluß nehmen können, das Gewicht eines wiener Kubikzolls reinen destillirten Wassers von der Temperatur 3^0 R. = 1·044023 Loth = 250·56552 Gran gefunden, woraus sich das Gewicht eines Kubikfußes reinen Wassers von 3^0 R. = 56 Pfund 12 Loth und 16·896 Gran ergibt. Die Temperatur von 3^0 R. wurde gewählt, weil das Wasser, wie sich an einem andern Orte ergeben wird, bei dieser Temperatur seine größte Dichte hat und in diesem Zustande immer angewendet wird, wenn es, wie bei der im Folgenden zu erörternden Bestimmung des spezifischen Gewichtes nach der zweiten Bedeutung oder der Dichte der Körper, als Maßeinheit dient (**17**). Bei der Temperatur 0^0 wiegt ein wiener Kubikzoll reinen Wassers 250·5369 Gran. Dem in das Wasser einzutauchenden Metallkörper gab Stampfer die Cylindergestalt, weil sich diese mittelst der uns zu Gebote stehenden Werkzeuge genauer und sicherer erreichen läßt, als irgend eine andere geometrische Gestalt.

Zur vorerwähnten Bestimmung des Gewichtsverlustes, den ein in Wasser oder irgend eine andere tropfbare Flüssigkeit eingetauchter Körper in dieser erleidet, bedient man sich immer am zweckmäßigsten einer sogenannten hydrostatischen Wage (Fig. 186), welche sich von einer richtigen und empfindlichen zweiarmigen Wage gewöhnlicher Einrichtung nur dadurch unterscheidet, daß die eine Wagschale an kürzeren Schnüren oder Drähten hängt und an ihrer unteren Fläche ein Häkchen a zum Aufhängen des in die Flüssigkeit einzutauchenden Körpers hat. Man kann daher jede gute Schalenwage in eine hydrostatische verwandeln, wenn man anstatt der einen Schale eine andere gleich schwere mit kürzeren Schnüren oder Drähten und dem besagten Häkchen versehene Schale einhängt, die sich zu diesem Behufe in der Regel jeder guten Wage beigegeben findet. Um nun den Gewichtsverlust eines Körpers in irgend einer Flüssigkeit zu bestimmen, wird der Körper mittelst eines durch Herumschlingen um denselben oder auf eine andere passende Art daran festgemachten Haares oder feinen Drahtes (der von der Flüssigkeit nicht angegriffen wird) an dem Häkchen der kürzeren Wagschale aufgehängt, dann durch auf die zweite längere Wagschale aufgelegte Gewichte äquilibrirt (d. i. der Wagbalken in die horizontale Gleichgewichtslage gebracht), nun dadurch in die betreffende Flüssigkeit versenkt, daß man das dieselbe enthaltende Gefäß **A** mittelst eines zum Höher- und Niedrigerstellen eingerichteten Trägers **B** der kürzeren Schale weit genug nähert, und endlich auf diese Wagschale so lange Gewichte auflegt, bis der beim Eintauchen des Körpers in die Flüssigkeit aus der horizontalen Stellung herausgekommene Wagebalken wieder in diese Stellung zurückgekehrt ist, wo dann diese Gewichte, da sie das er-

Fig. 186.



setzen, was der Körper durch das Eintauchen an seinem Gewichte verloren hat, die Größe des Gewichtsverlustes darstellen. Ist der Draht, dessen man sich zum Aufhängen des betreffenden Körpers bedient, nicht so fein, daß man den Antheil des gefundenen Gewichtsverlustes, der auf Rechnung des Drahtstückes kömmt, welches zugleich mit dem Körper in die Flüssigkeit eingetaucht war, als etwas Unbedeutendes vernachlässigen kann, so muß nach der Trennung des Körpers vom Drahte ganz auf die beschriebene Weise der Gewichtsverlust, den das eingetaucht gewesene Drahtstück für sich erleidet, abgesondert bestimmt und von dem vorbesagten Gesammtverluste abgezogen werden, um den wahren Gewichtsverlust des eingetauchten Körpers zu erhalten . . . . (84)

Genau auf dieselbe Art, wie für Wasser angegeben wurde, ließe sich auch bei irgend einer anderen tropfbaren Flüssigkeit (indem nämlich ein cylindrischer oder anderer Körper von bekanntem Volum in dieselbe eingetaucht und der Gewichtsverlust durch dieses Volum dividirt wird), das genaue spezifische Gewicht derselben unmittelbar bestimmen. Allein man hat die Wiederholung dieses einmal für Wasser gehörig durchgeführten und der vielen dabei zu berücksichtigenden Umstände wegen äußerst umständlichen Verfahrens bei andern Flüssigkeiten nicht nöthig, sondern kann, wie im Folgenden gezeigt werden wird, aus dem bereits bekannten spezifischen Gewichte des Wassers das spezifische Gewicht jeder andern Flüssigkeit leicht berechnen, wenn ihr spezifisches Gewicht in der zweiten Bedeutung des Wortes oder ihre Dichte (da nach **17** spezifisches Gewicht in zweiter Bedeutung und Dichte ein und dasselbe ist) bekannt oder auf eine (sehr einfache) Weise, die gleich nachher angegeben werden wird, vorläufig bestimmt worden ist . . . . (85)

Man könnte das spezifische Gewicht eines tropfbaren Körpers auch mittelst eines Fläschchens oder anderen Gefäßes bestimmen, dessen Rauminhalt v entweder schon bekannt oder vorher nach dem auf S. 14 unter Ad 1) angegebene Verfahren ausgemittelt worden, indem man das Gefäß mit der betreffenden Flüssigkeit genau vollfüllt, von dem Gewichte des vollen Fläschchens das Gewicht des leeren abzieht und das so erhaltene Gewicht des mit dem Rauminhalte des Fläschchens gleich großen Flüssigkeitskörpers durch das Volum v dieses letzteren dividirt. Dieses Verfahren, welches keine hydrostatische, sondern nur eine gewöhnliche gute Wage voraussetzt, steht aber dem früher beschriebenen nach, weil sich der innere hohle Raum eines Gefäßes nie so genau und bequem messen läßt, wie das äußere Volum eines regelmäßig gestalteten Körpers.

Das spezifische Gewicht eines festen Körpers wird, der Körper mag wie immer gestaltet sein, am einfachsten und sichersten durch Berechnung aus seiner vorläufig bestimmten Dichte und aus dem bekannten spezifischen Gewichte des Wassers auf nachher anzugebende Weise erhalten. Von Körpern, die eine regelmäßige Gestalt haben, kann es aber [nach (5) in **16**] auch unmittelbar bestimmt werden, indem man ihr zuvor genau ermitteltes Gewicht durch das eben so genau gemessene Volum dividirt.

2. Bestimmung des spezifischen Gewichtes im zweiten Sinne des Wortes. Da das spezifische Gewicht in diesem Sinne, wie eben kurz zuvor in Erinnerung gebracht wurde, mit dem Begriff „Dichte" ganz gleichbedeutend ist, so wollen wir im Nachfolgenden, um jede Zweideutigkeit zu beseitigen und kürzer sprechen zu können, anstatt „spezifisches Gewicht nach der zweiten Bedeutung des Wortes" immer „Dichte" sagen, mit dem Ausdrucke „spezifisches Gewicht" aber das spezifische Gewicht im eigentlichen Sinne des Wortes bezeichnen, und nicht vergessen, daß, indem wir die Dichte eines Körpers bestimmen, auch zugleich sein spezifisches Gewicht zweiter Bedeutung bestimmt wird. Wir werden ferner auf kürzestem Wege zu dem oben in der Aufschrift ausgesprochenen Ziel gelangen, wenn wir mit der Bestimmung der Dichte tropfbarer Flüssigkeiten den Anfang machen.

Unter Dichte eines Körpers versteht man (**17**) die Zahl, welche anzeigt, wie vielmal größer oder kleiner das absolute Gewicht irgend eines Volums dieses Körpers ist, als das Gewicht eines gleich großen Volums reinen Wassers von 3° **R.** Handelt es sich also um die Dichte einer tropfbaren Flüssigkeit, so hat man zuerst das Gewicht irgend eines Volums dieser Flüssigkeit, dann das Gewicht eines gleichgroßen Volums destillirten Wassers von der Temperatur 3° **R.** zu ermitteln und ersteres Gewicht durch letzteres zu dividiren. Beide Gewichte werden erhalten, indem man mit Hilfe einer hydrostatischen Wage, auf unter (84) angegebene Weise, einen festen Körper, der spez.fisch schwerer ist als das Wasser und die andere betreffende Flüssigkeit, überdies von beiden nicht angegriffen wird*), zuerst in diese Flüssigkeit und dann in Wasser der angegebenen Beschaffenheit (oder in umgekehrter Folge) eintaucht. Die Gewichtsverluste f und w, die er in beiden Fällen erleidet, und die nach (84) bestimmt werden, stellen gemäß (77) auf S. 187 die absoluten Gewichte gleicher Volume beider Flüssigkeiten dar, geben somit, durch einander dividirt, die in Frage stehende Dichte d, so daß, wenn w den Gewichtsverlust im Wasser bedeutet,

$d = \frac{f}{w}$ ist . . . . (86)

Bei dieser Bestimmung der Gewichtsverluste ist außer der unter (84) als nöthig angeführten Rücksichtnahme auf das mit eingetauchte Stück des Fadens, woran der Körper hängt, auch noch wohl darauf zu achten, daß der Glastropfen oder sein Substitut und der ihn tragende Faden oder Draht vor dem jedesmaligen Eintauchen in die Flüssigkeit an seiner Oberfläche ganz rein sei, an derselben namentlich keine Spur einer andern Flüssigkeit hafte, daß alle Theile der Oberfläche des bereits eingetauchten Körpers von der Flüssigkeit benetzt und alle dieser Oberfläche etwa anhängenden Luftbläschen (mittelst eines Glasstäbchens) entfernt (weggestreift) worden, daß endlich während des Eintauchens die Wage so wenig als möglich schwanke, damit der oft besagte Faden oder Draht nicht zu einer größern Tiefe einsinke als er hat, nachdem die Wage durch Auflegen von Gewichten in die horizontale Gleichgewichtslage zurückgeführt worden, weil sonst der hiebei weiter aus der Flüssigkeit hervortretende Faden oder Draht eine kleine, das Wägungsresultat störende, mithin einen Fehler, der mit der Dicke des Fadens oder Drahtes zunimmt, verursachende Säule (Hülle) der Flüssigkeit mit sich emporzieht. Die angegebenen Vorsichten sind überhaupt in allen bereits vorgekommenen und noch später vorkommenden Fällen zu beobachten, wo feste Körper in Flüssigkeiten zum Behuf der Bestimmung des Gewichtsverlustes oder zu andern Zwecken genau zu wägen sind . . . . . (87)

Hätte das zum Versuch in Anwendung gebrachte Wasser nicht 3° **R.**, sondern irgend eine andere Temperatur t gehabt, so ist die gefundene Zahl d die Dichte der fraglichen Flüssigkeit in Bezug auf das reine Wasser von der Temperatur t, d. h. sie zeigt an, wie vielmal mehr oder weniger irgend ein Volum dieser Flüssigkeit wiegt, als ein gleich großes Volum reinen Wassers von der Temperatur t. Weiß man aber, wie vielmal mehr oder weniger das Volum Wasser von der Temperatur t wiege als ein gleiches Volum Wassers von 3° **R.**, d. h. ist die Dichte d_1 des Wassers von der Temperatur t bekannt, so braucht man, um die wahre Dichte **D** der betreffenden Flüssigkeit (in Bezug auf Wasser von 3° **R.** nämlich) zu erhalten, nur die mit Was-

*) Am besten eignet sich ein abgerundeter, glatter und reiner massiver Glastropfen, der etwa die Größe einer kleinen wälschen Nuß hat und an einem feinen Platindrahte hängt; nur wenn die auf die Dichte zu prüfende Flüssigkeit, Flußspathsäure, welche das Glas sehr schnell angreift, oder Quecksilber ist, das ein größeres spezifisches Gewicht als das Glas hat, muß ein anderer passender fester Körper angewendet werden. Im ersteren Falle eignet sich dann recht gut ein Blei-, im letztern aber nur ein Platinkörper.

ser von t^0 bestimmte Dichte d mit der Dichte d_1 des Wassers bei dieser Temperatur zu multipliziren, so daß $D = d . d_1$ ist . . . . (88)

Denn bedeutet, unserer obigen Annahme zu Folge, f den Gewichtsverlust des Glastropfens in der Flüssigkeit, deren Dichte zu bestimmen ist, w den Gewichtsverlust im Wasser von t^0 **R.** und c den Gewichtsverlust desselben Tropfens im Wasser von 3^0 R., so ist $d_1 = \frac{w}{c}$, mithin $w = cd_1$, und wenn dieser Werth für **w** in die Gleichung (86) gesetzt wird, $d = \frac{f}{cd_1}$, woraus $\frac{f}{c} = d . d_1$ folgt. Nun stellt aber $\frac{f}{c}$ die Dichte **D** der in Frage stehenden Flüssigkeit in Bezug auf Wasser von 3^0 **R.** vor, folglich ist diese Dichte $D = d . d_1$, was zu erweisen war.

Die Dichte des Wassers bei den von 3^0 **R.** verschiedenen Temperaturen erhält man in Bezug auf Wasser von der Temperatur 3^0 **R.** entweder durch Versuche ganz so, wie die Dichten anderer Flüssigkeiten, oder durch Rechnung nach einer aus Versuchen abgeleiteten Formel. Die folgende, von S t a m p f e r herrührende Tabelle enthält die Dichte des Wassers für die Temperaturen von -3^0 bis 32^0 des Réaumurschen Thermometers.

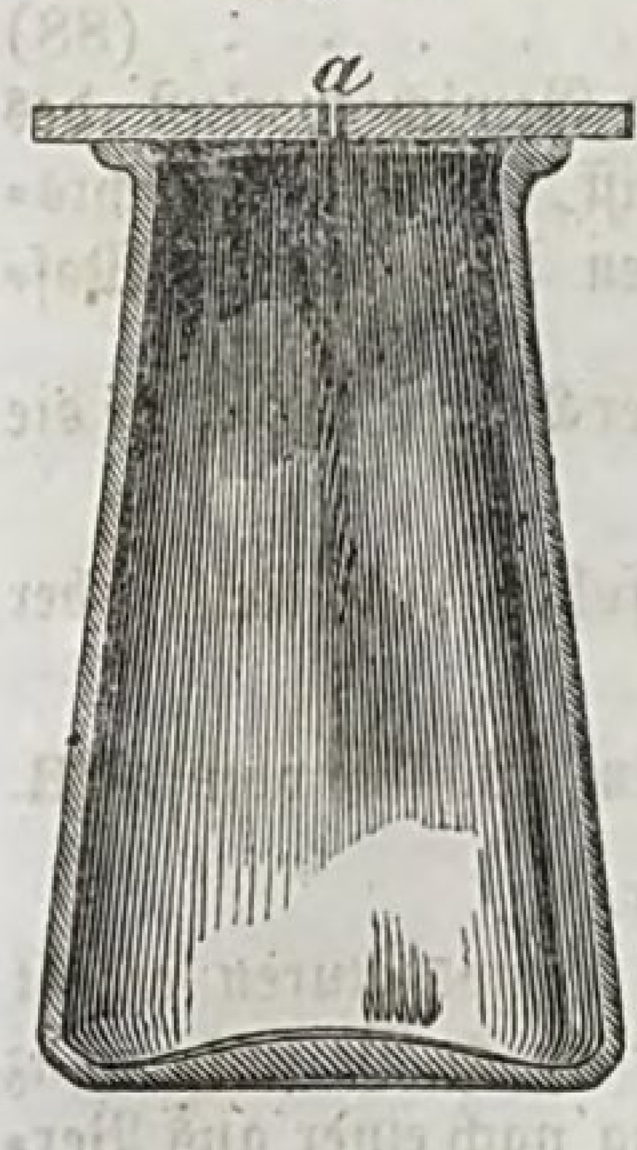
Temperatur.	Dichte des Wassers.	Temperatur.	Dichte des Wassers.	Temperatur.	Dichte des Wassers.	Temperatur.	Dichte des Wassers.
− 3	0·999537	+ 6	0·999894	+ 15	0·998435	+ 24	0·995601
2	0·999681	7	0·999813	16	0·998180	25	0·995219
1	0·999797	8	0·999711	17	0·997909	26	0·994825
0	0·999887	9	0·999587	18	0·997622	27	0·994420
+ 1	0·999950	10	0·999442	19	0·997320	28	0·994004
2	0·999988	11	0·999278	20	0·997003	29	0·993579
3	1·000000	12	0·999095	21	0·996673	30	0·993145
4	0·999988	13	0·999893	22	0·996229	31	0·992701
5	0·999952	14	0·998673	23	0·995971	32	0·992247

Tabelle der Dichte des Wassers nach neueren Versuchen (im J. 1839); von D e p r e tz.

Temp. nach C.	Dichte des Wassers.	Temp. nach C.	Dichte des Wassers.	Temp. nach C.	Dichte des Wassers.	Temp. nach C.	Dichte des Wassers.
+ 17	0·998893	+ 10	0·999831	+ 3	0·999999	− 4	0·999441
16	0·998988	9	0·999901	2	0·999963	5	0·999351
15	0·999125	8	0·999908	1	0·999924	6	0·999098
14	0·999338	7	0·999919	0	0·999862	7	0·998885
13	0·999345	6	0·999977	− 1	0·999786	8	0·998644
12	0·999636	5	0·999999	2	0·999692	9	0·998603
11	0·999730	4	1·000000	3	0·999581		

Um die Gewichte gleicher Volumtheile reinen Wassers von 3^0 R. und irgend einer andern tropfbaren Flüssigkeit zu erhalten und daraus durch Division des letzteren Gewichtes durch ersteres (86) die Dichte dieser Flüssigkeit zu bestimmen, kann man sich auch eines kleinen Gläschens bedienen, dasselbe einmal mit reinem Wasser von 3^0 R., dann nach früher vorgenommener sorgfältiger Austrocknung und Reinigung mit der betreffenden Flüssigkeit ganz genau anfüllen, jedesmal mittelst einer gewöhnlichen guten Wage das Gewicht des vollen Gläschens und, indem man hievon nachher das bekannte Gewicht des leeren Gläschens subtrahirt, das Gewicht der eingefüllten Flüssigkeit bestimmen. Damit man versichert sein könne, daß das Gläschen mit der betreffenden Flüssigkeit immer genau voll sei, daher stets ein ganz gleiches Volum Flüssigkeit enthalte, muß es sich, wie Fig. 187, ein solches Gläschen in natürlicher Größe vorstellend, zeigt, durch ein auf seinen ebenen Rand aufgeschliffenes Glasplättchen verschließen lassen, welches in der Mitte ein kleines Löchelchen a hat und, nachdem das Gläschen so mit Flüssigkeit angefüllt ist, daß die Oberfläche dieser letzteren mit einer Convexität über den Rand des Gläschens hinausragt, horizontal auf diesen Rand aufgeschoben wird. Dabei wird die besagte über-

Fig. 187.



ragende Convexität der Flüssigkeit abgestreift, durch das Löchelchen a kann alle etwa in dem Gläschen noch zurückgebliebene Luft entweichen gemacht werden und man kann, wenn in jedem Falle des Anfüllens zuletzt dafür gesorgt wird, daß auch das Löchelchen a mit einem Tropfen der im Gläschen enthaltenen Flüssigkeit gerade ausgefüllt ist, sicher sein, daß das Gläschen immer ein ganz gleiches Volum Flüssigkeit enthalte. Anstatt des beschriebenen Gläschens kann auch ein Fläschchen mit engem Hals, das einen eben geschliffenen Rand hat, angewendet werden. In der durch Fig. 187 dargestellten Form eignet es sich aber zugleich noch zu einem andern gleich nachher angegebenen Zweck.

Da von der Flüssigkeit, deren Dichte zu bestimmen ist, nicht immer eine zum Anfüllen des beschriebenen größeren Gläschens hinreichende Menge zu Gebote steht, da überdies nicht einmal rathsam ist, mit solchen größeren Mengen Flüssigkeit zu manipuliren, indem diese für gute und genaue Wagen oft eine zu große Last sind, so zieht man das durch Fig. 188 in natürlicher Größe dargestellte Gläschen mit dünnen Wänden vor, welches sich an der Glasbläserlampe (einer mittelst eines Blasbalges angeblasenen Oellampe mit großem, dickem Docht) sehr leicht zu Stande bringen läßt und mit einem eingeriebenen Stöpsel verschlossen wird, den man aus einem Stück einer Thermometerröhre anfertigt, damit der hohle Kanal in demselben die Leistungen des bei dem Gläschen der Fig. 187 erwähnten Löchelchens a übernehme, überdies noch bei etwaiger Erwärmung der Flüssigkeit einem Theil derselben einen Ausweg gestatte, weil sonst der Stöpsel entweder gehoben, oder das Gläschen zersprengt werden würde. Man heißt die Gläschen, von welchen eben die Rede war, Pyknometer.

Fig. 188.



Endlich wird die Dichte einer tropfbaren Flüssigkeit auch nach (**108**) mit Hilfe einer Communicationsröhre bestimmt; indem man in diese die betreffende Flüssigkeit und reines Wasser bringt, und nach dem Satze (÷) auf S. 171, daß sich die spezifischen Gewichte der eingefüllten Flüssigkeiten umgekehrt wie die Höhen der in dem Communicationsgefäße im Gleichgewichte stehenden Flüssigkeitssäulen verhalten, das Verhältniß $s : s_1$ der spezifischen Gewichte des Wassers und der zweiten Flüssigkeit ermittelt. Da s und s_1 die Gewichte der Volumseinheit (eines Kubikzolls), mithin gleicher Volume des Wassers und der zweiten betreffenden Flüssigkeit vorstellen, so ist $\frac{s_1}{s}$ . . . 1) die Dichte der letztern Flüssigkeit. Wäre diese Flüssigkeit der Art, daß sie sich mit Wasser mischt, z. B. Weingeist, so wähle man als Vermittler noch eine dritte Flüssigkeit, welche weder mit dem Wasser noch mit der zweiten Flüssigkeit eine Mischung eingeht, z. B. Quecksilber. Die spezifischen Gewichte des Wassers, des Weingeistes und Quecksilbers seien s, s_1, s_2. Man bestimme jetzt auf vorstehende Weise das Verhältniß $\frac{s_1}{s_2} = a$ . . . 2) der spezifischen Gewichte des Weingeistes und Quecksilbers, hierauf das Verhältniß $\frac{s_2}{s} = b$ . . . 3) der spezifischen Gewichte des Quecksilbers und Wassers und findet dann aus den Gleichungen 2) und 3) die Dichte $\frac{s_1}{s}$ des Weingeistes $= ab$ . . . 4). Einen recht bequemen Apparat, der die Bestimmung der Dichte einer jeden Flüssigkeit, unmittelbar aus dem Verhältnisse ihres spezifischen Gewichtes zu dem spezifischen Gewichte des Wassers gestattet, also keine dritte vermittelnde Flüssigkeit nöthig macht, wird uns die Folge kennen lehren. Es versteht sich von selbst, daß, wenn bei den eben besprochenen Versuchen reines Wasser von einer andern Temperatur als 3° R. angewendet wurde, die in Bezug auf solches Wasser gefundene Dichte durch Multiplikation mit der Dichte dieses Wassers (nach den Tabellen auf S. 197) in die eigentliche Dichte verwandelt werden müsse. Das Nämliche gilt natürlich auch für alle im Folgenden noch zu besprechenden, die Bestimmung der Dichte der Körper betreffenden Versuche . . . 5).

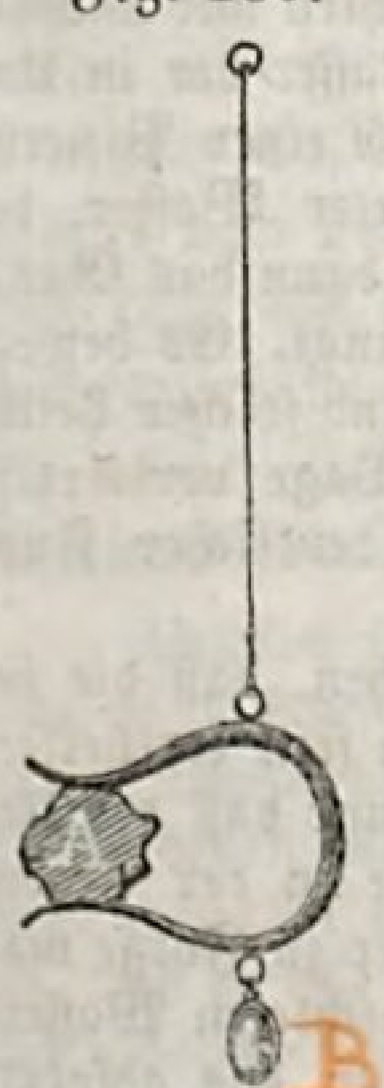
Ist die Dichte einer Flüssigkeit, nämlich die Zahl bekannt, welche anzeigt,

wie vielmal mehr oder weniger irgend ein Volum, also auch 1 Kub. Zoll derselben wiegt, als ein gleich großes Volum (1 Kub. Zoll) reinen Wassers von 3° R., so braucht man, um das spezifische Gewicht derselben zu erhalten, nur das bekannte Gewicht eines Kubikzolles Wasser von 3° R. mit dieser (die Dichte darstellenden) Zahl zu multipliziren. Man erhält demnach das spezifische Gewicht einer tropfbaren Flüssigkeit auch (man sehe (85) S. 195), indem man ihre Dichte bestimmt und mit dieser das spezifische Gewicht des reinen Wassers von 3° R. multiplizirt . . . . (89)

Die Bestimmung der Dichte eines festen Körpers mittelst der hydrostatischen Wage geschieht auf folgende Art. Ist der betreffende Körper (welcher der Kürze halber immer mit A bezeichnet werden soll) spezifisch schwerer als Wasser und in diesem nicht auflöslich, so hänge man ihn (in der S. 194 beschriebenen Weise mittelst eines dünnen Fadens oder Drahtes u. s. w.) an dem Haken der kürzern Wagschale auf und bringe die Wage durch auf die zweite Wagschale aufgelegte Gewichte in die Gleichgewichtslage. Es stellen diese Gewichte das absolute Gewicht (es heiße dies z. B. p) des Körpers A vor, vorausgesetzt, daß das zum Aufhängen desselben angewendete Faden- oder Drahtstück so klein und dünn ist, daß man sein Gewicht als zu unbedeutend ganz vernachlässigen kann; im entgegengesetzten Falle hat man, um das richtige absolute Gewicht p von A zu erhalten, von den besagten, auf die zweite Wagschale aufgelegten Gewichten das abgesondert bestimmte Gewicht des in Anwendung genommenen Faden- oder Drahtstückes in Abzug zu bringen. Hierauf taucht man den an der Wage hängenden Körper A auf die unter (84) S. 195 auseinandergesetzte Art und mit den dort angegebenen Vorsichten in reines Wasser von 3°R., legt auf die den Körper A tragende, kürzere Schale so lange Gewichte auf, bis die durch das Eintauchen von A gestörte Gleichgewichtslage des Wagebalkens wieder vollkommen hergestellt ist und dividirt jetzt durch die Gewichte, welche zu diesem Ende auf die kürzere Wagschale aufgelegt werden mußten (und welche den Gewichtsverlust des Körpers A, d. i. das absolute Gewicht eines mit A ganz gleich großen Wasserkörpers von 3° R. vorstellen) das absolute Gewicht p des Körpers A. Der Quotient ist dann die Dichte dieses letztern.

Ist der feste Körper A in Wasser nicht löslich, aber spezifisch leichter als dieses, so daß er an und für sich darin nicht ganz untertaucht; so vereinige man ihn, nach vorläufig gemachter Bestimmung seines absoluten Gewichtes p, mit irgend einem andern Körper B, der um so viel spezifisch schwerer ist als Wasser, daß er mit sich auch den leichtern Körper A unter Wasser zieht (am besten bedient man sich zu diesem Ende einer an einem feinen Faden oder Draht hängenden federnden Klemme oder Zange von Metall, wie sie Fig. 189 anschaulich macht), bestimme nun auf die schon mehrfach wiederholte und daher keiner weitern Beschreibung bedürfende Art den Gewichtsverlust v der beiden mit einander vereinigten Körper A und B in reinem Wasser von 3° R., trenne hierauf A von B wieder und suche den Gewichtsverlust v_1, den B allein in dem besagten Wasser erleidet, so ist $v-v_1=q$ der Gewichtsverlust des Körpers A, mithin $\frac{p}{q}$ seine Dichte ... (1. In Ermanglung einer Zange zum Einklemmen des in Untersuchung zu nehmenden leichtern Körpers A kann man diesen auch mit der nächst besten Metallmasse M zusammenbinden; muß aber dann, nachdem nämlich der gesammte Gewichtsverlust W der vereinigten Körper A und M bestimmt und A wieder von M getrennt worden, den Gewichtsverlust w bestimmen, welchen der Körper M in Vereinigung mit dem Draht- oder Fadenstück im Wasser erfährt, das zum Zusammenbinden von M und A gedient hatte; $W-w=r$ ist dann der alleinige Gewichtsverlust des Körpers

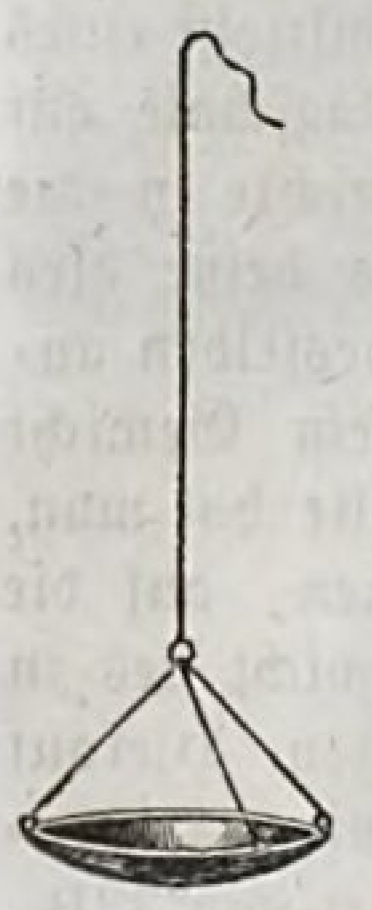
Fig. 189.



A, daher $\frac{p}{r}$ dessen Dichte ... (2. Bei Bestimmung des Gewichtsverlustes, den die Zange oder der mit A zusammengebunden gewesene Körper M allein erleidet, ist darauf zu achten, daß der zum Aufhängen dienende Draht oder Faden jetzt der nämliche bleibe und sich genau eben so tief einsenke wie vorher, wo mit der Zange B oder dem Hilfskörper M zugleich auch der Körper A eingetaucht wurde ... (3.

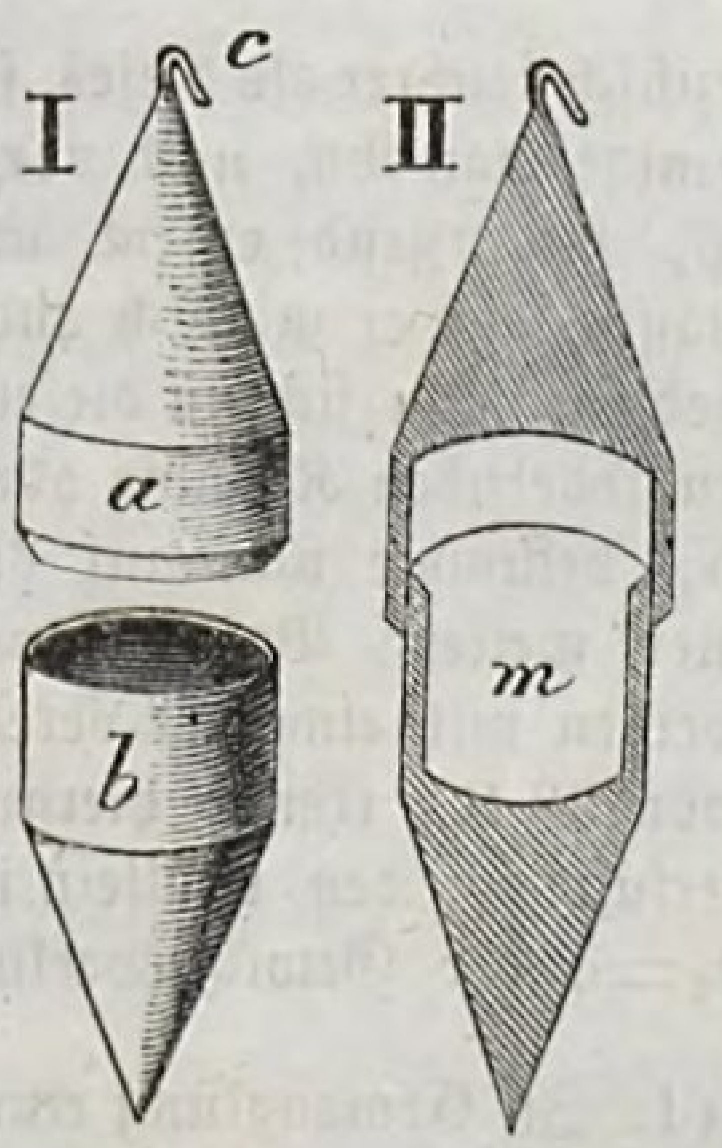
Ist der feste Körper A zwar spezifisch schwerer als Wasser, darin auch nicht löslich, aber nur in so kleinen Theilen, z. B. in Körnern, Spänen, in Pulverform u. s. w. vorhanden, daß er sich nicht an einem Drahte oder Faden befestigen und an dem Haken der Wagschale aufhängen läßt, so bringt man von diesen kleinen Theilchen (Körnern, Spänen ꝛc.) eine entsprechende Menge, deren absolutes Gewicht q vorher ermittelt worden, in ein gläsernes, an Draht hängendes Schälchen, wie es die Fig. 190 zeigt, und wie man es in gehöriger Größe leicht aus einem etwas tiefern Taschenuhrglase erhält, versenkt dieses Schälchen hernach in reines Wasser von 3° R., rührt mittelst eines dünnen Glasstäbchens die Theilchen des in dem Schälchen enthaltenen Körpers vorsichtig um, damit alle in den Zwischenräumen enthaltene Luft so viel möglich entweichen gemacht werde, bestimmt nun den Gewichtsverlust V des Schälchens mit dem darin befindlichen Körper, und hierauf unter Beobachtung der eben unter (3 angegebenen Vorsicht den Gewichtsverlust v des Schälchens allein. V—v = q ist dann der Gewichtsverlust und $\frac{q}{p}$ die Dichte des fraglichen Körpers A.

Fig. 190.



Zur Bestimmung der Dichte von nur in kleinen Stücken, Körnern oder in Pulverform vorhandenen Körpern empfiehlt Scheerer in Christiania anstatt des eben besprochenen Uhrglases — welches sowohl wegen seiner Gestalt als wegen der zwischen Glas und Wasser stattfindenden Reibung (Adhäsion) eine bedeutende Trägheit besitzt, die bei der Wägung im Wasser leicht eine Unsicherheit von einigen Milligrammen verursacht, — den in Fig. 191 bei I und II in $^2/_3$ der natürlichen Größe abgebildeten Apparat als besonders zweckmäßig. Bei I sind die beiden auseinander genommenen Theile a und b des Apparates in perspektivischer Ansicht dargestellt und II zeigt den zusammengesetzten Apparat in senkrechtem Durchschnitte. Jeder der beiden Theile a, b ist aus einem massiven Stück Silber auf der Drehbank gedreht und polirt, und der untere Theil b wird nur durch Reibung von dem obern Theil a festgehalten. Bei c wird das zum Aufhängen des Apparates an der Wage bestimmte Haar befestigt, und der Raum m ist zur Aufnahme der Stücke, der Körner oder des Pulvers bestimmt, wovon die Dichte ermittelt werden soll. Beim Gebrauche wird in den eben vorher in destillirtem Wasser ausgekochten und nachher erkalten gelassenen Apparat unter destillirtem Wasser der in Untersuchung zu nehmende Körper, etwa mit Hilfe einer Pincette in den Theil b eingefüllt, hierauf, ebenfalls unter Wasser, der Theil b durch den obern Theil a geschlossen und dann das Ganze mittelst eines einfachen Haares an die Wage gehängt. Es bewegt sich dann der Apparat mit so geringer Friction und solcher Leichtigkeit im Wasser auf und nieder und eine gute Wage verliert so wenig von ihrer Empfindlichkeit, daß mit $^1/_2$ bis 1 Milligramm noch ein deutlicher Ausschlag erhalten wird.

Fig. 191.



Hier mag auch zugleich der Erfahrung G. Rose's Erwähnung geschehen, daß die bestimmte Dichte immer größer ausfällt, wenn man den betreffenden Körper im fein zertheilten Zustande, als wenn man ihn in größeren Massen der Untersuchung unterwirft, und daß der Unterschied mit dem Grade der Feinheit steigt. Den Grund hievon sucht Rose in der Eigenschaft der Körper, in fein zertheiltem Zustande das Wasser zu verdichten, welcher zu Folge man im Wasser nicht den Körper allein, sondern immer mit einer Quantität verdichteten Wassers wägt, so daß für den Verlust im Wasser eine niedrigere und bei der Division in das absolute des Körpers eine höhere Zahl erhalten wird.

Hat der in Körnern, oder als Pulver u. dgl. vorhandene Körper ein geringeres spezifisches Gewicht als Wasser, so wählt man anstatt des Wassers eine andere tropfbare Flüssigkeit, welche spezifisch leichter ist als der besagte Körper und ihn weder auflöst noch sonst auf eine Art verändert, bestimmt ganz auf die eben angegebene Weise (mit Zuhilfenahme des Schälchens 2c., und indem man mit dieser Flüssigkeit gerade so, wie wenn man es mit Wasser zu thun hätte, verfährt) seine Dichte im Verhältniß zu dieser Flüssigkeit und multiplizirt dann diese Dichte mit der entweder bereits bekannten oder vorläufig bestimmten, auf reines Wasser von 3° **R.** sich beziehenden Dichte der angewendeten Flüssigkeit, wodurch man nach (88) auf S. 197 die wahre Dichte dieser letzteren in Bezug auf dieses Wasser erhält, indem die Hilfsflüssigkeit hier ganz die Rolle von Wasser spielt, welches eine von 3° **R.** verschiedene Temperatur hat . . . **(I)**. Daß ein ähnliches Verfahren auch auf alle in größeren Stücken vorhandene feste Körper, die spezifisch leichter sind als Wasser, Anwendung leide, man nämlich ihre Dichte in Bezug auf eine andere sie nicht angreifende leichtere Flüssigkeit bestimmen und diese durch die besagte Multiplikation in die auf das Wasser sich beziehende Dichte umwandeln könne, leuchtet von selbst ein . . . **(II)**. Die Dichte gepulverter Körper überhaupt wird übrigens am genauesten mit einem Apparat bestimmt, dessen Einrichtung und Gebrauch in verständlicher Weise erst in der Folge mitgetheilt werden kann und bei dessen Anwendung alle Unrichtigkeit wegfällt, die bei dem angegebenen Verfahren, die Dichte gepulverter Körper zu bestimmen, in den meisten Fällen daraus entspringt, daß das Wasser nicht in alle Zwischenräume der Pulvertheile eindringt, diese daher mehr Wasser verdrängen und somit einen größern Gewichtsverlust erleiden, als sie vermöge des eigentlichen Volums ihrer Masse erleiden sollen . . . **(III)**.

Wird der feste Körper **A**, dessen Dichte zu ermitteln ist, vom Wasser angegriffen oder aufgelöst, so gelangt man zum Ziel, entweder indem man, wie wenn der Körper spezifisch leichter als Wasser wäre, nach **(II)** verfährt, nämlich seine Dichte in Bezug auf eine andere ihn nicht angreifende und im Verhältniß zu ihm spezifisch leichtere Flüssigkeit bestimmt und die so erhaltene Dichte mit der Dichte dieser Flüssigkeit in Bezug auf Wasser multiplizirt, oder indem man den Körper **A**, vorausgesetzt, daß er spezifisch schwerer sei als Wasser, ganz dünn mit Wachs überzieht, jetzt den Gewichtsverlust **U** bestimmt, den er sammt dem Wachsüberzuge im Wasser erleidet, hernach das Wachs herabnimmt, von diesem allein (nach (1 oder (2 auf S. 199 und 200) den Gewichtsverlust **u** in Wasser sucht und endlich das absolute Gewicht des Körpers **A** durch den Unterschied **U**—**u** der Gewichtsverluste dividirt. Das besagte Ueberziehen des Körpers mit Wachs geschieht am besten und leichtesten, indem man sich aus Wachs mäßig dicke Blätter macht und diese stückweise an die Oberfläche des betreffenden Körpers andrückt, so daß sie an dieser Oberfläche überall genau anliegen und auch ihre Ränder sich wasserdicht aneinander anschließen. Nach erfolgter Bestimmung des Totalgewichtsverlustes **(U)** löst man die Wachsblätterstücke wieder von dem Körper ab, so daß an diesem nichts von dem Wachse kleben bleibt, und legt die Wachsblätterstücke zum Behufe der Ermittlung ihres alleinigen Gewichtsverlustes **(u)** so zu einem einzigen (kleinen) Stücke zusammen, daß sie zwischen sich keine Zwischenräume lassen, andererseits aber auch nicht in Folge zu starken Aneinanderdrückens an Dichte zunehmen.

Endlich kann man sich zur Bestimmung der Dichte eines kleinen festen Körpers A auch des vorn S. 198 beschriebenen Gläschens (Fig. 187) bedienen. Zu diesem Ende füllt man es genau mit reinem Wasser von 3° R. voll, bestimmt das absolute Gewicht P des vollen Gläschens, nimmt dann die auf dessen Rand aufgeschobene Glasplatte herab, thut den Körper A, dessen absolutes Gewicht p vorher ebenfalls bestimmt worden, ins Gläschen hinein, setzt die Glasplatte wieder so auf, daß es mit Wasser ganz voll bleibt, und wägt es nun. Gesetzt man finde das Gewicht q. Wäre beim Hineinthun des Körpers A ins Gläschen kein Wasser daraus verdrängt worden, so müßte das Gläschen bei der letzten Wägung statt des Gewichtes q das größere Gewicht $P + p$

gezeigt haben, es ist demnach $P + p - q = p_1$ das Gewicht des von A verdrängten, mit ihm gleich großen Wasserkörpers, daher $\frac{p}{p_1}$ ... IV) die Dichte des Körpers A. Daß man das Gläschen, nachdem der Körper A hineingebracht und dasselbe durch Austreten des Wassers (Ueberlaufen) äußerlich naß geworden, vor der besagten letzten Wägung wohl abtrocknen müsse, bedarf keiner Erwähnung. Eben so ist aus dem Vorhergehenden nun für sich klar, wie man mittelst des Gläschens zu verfahren habe, wenn der Körper A spezifisch leichter ist, als Wasser. Man verbinde ihn nämlich mit einem kleinen spezifisch schwereren Körper B, suche zuerst den Gewichtsverlust v von A+B, hierauf den Verlust v_1 von B allein und hat so $v - v_1$ = dem Gewichtsverlust v_2 des Körpers A; oder man bestimmt die Dichte d_1 von A in Bezug auf eine passende, im Verhältniß zu ihm spezifisch leichtere Flüssigkeit und durch Multiplikation von d_1 mit der auf das Wasser sich beziehenden Dichte der erwählten Flüssigkeit die Dichte von A in Bezug auf Wasser. Dieser letztere Weg führt auch zum Ziel, wenn A im Wasser löslich ist. Hat das Wasser im Gläschen nicht 3° R., sondern die Temperatur t, so ist natürlich auch hier nach (88) S. 197 zu corrigiren, d. i. die in Bezug auf dieses Wasser gefundene Dichte mit der Dichte des Wassers von der Temperatur t aus den Tabellen auf Seite 197 zu multipliziren.

Daß man, um aus der bekannten Dichte eines festen Körpers sein spezifisches Gewicht zu finden, ganz so wie vorn auf S. 199 unter (89) für tropfbare Flüssigkeiten gezeigt wurde, zu verfahren, nämlich diese Dichte mit dem gegebenen spezifischen Gewichte des reinen Wassers von 3° R. (S. 194) zu multipliziren habe, wird aus dem eben citirten Absatze klar, wenn man das darin von einer tropfbaren Flüssigkeit Gesagte auf einen festen Körper bezieht.

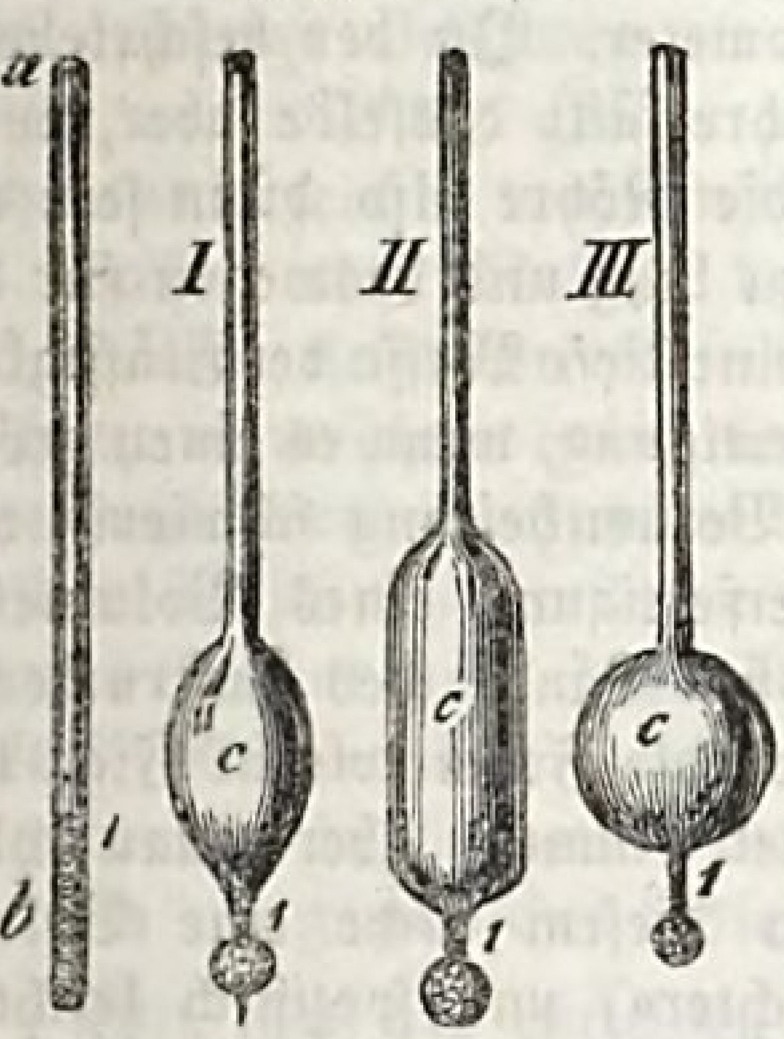
117. Bestimmung der Dichte tropfbarer und fester Körper mittelst der Aräometer. Aräometer sind hohle gläserne oder metallene Körper passender Gestalt, welche in tropfbaren Flüssigkeiten mit Stabilität schwimmen und entweder durch die Volumtheile, bis zu welchen sie sich ohne Aenderung ihres Gewichtes in verschiedenen Flüssigkeiten eintauchen (S. 190) oder durch die verschiedenen Gewichte, die sie erhalten müssen, damit sie in verschiedenen Flüssigkeiten immer gleichtief einsinken (S. 191) das Verhältniß der spezifischen Gewichte und, da diese den Dichten direkt proportional sind *), auch das Verhältniß der Dichten dieser Flüssigkeiten anzeigen. Man nennt die Aräometer der ersten Art, da die Tiefe ihres Eintauchens aus einer an ihnen verzeichneten Scale beurtheilt wird, Scalen-Aräometer und die Aräometer der zweiten Art, da sie die zu immer gleich tiefem Einsinken in verschiedenen Flüssigkeiten erforderlichen Gewichte durch Zulegegewichte erhalten, Gewichts-Aräometer oder Gravimeter.

118. Bestimmung der Dichte tropfbarer Flüssigkeiten mittelst der Scalen-Aräometer. Ein Scalen-Aräometer besteht, in zweckmäßigster Form, aus einer cylindrischen, beiderseits geschlossenen Röhre ab (Fig. 192), am besten von Glas, (oft auch von dünnem Blech) die an dem einen Ende b, gewöhnlich durch daselbst mittelst einer Schichte 1 geschmolzenen Siegellacks eingeschlossene Schrote, Quecksilber u. dgl. belastet ist, so daß ihr Schwerpunkt nahe an das belastete Ende fällt, die Röhre somit, wenn sie mit diesem Ende in eine Flüssigkeit eingesenkt wird, darin mit Stabilität schwimmt. Oft findet man die Röhre, insbesondere wenn sie aus Metall besteht, gegen das belastete Ende b hin noch mit kugel-, birn- oder cylinderförmigen Erweiterungen c versehen, um sie beim Schwimmen in Wasser weit genug daraus hervorragen zu machen (S. 188). Die Aräometer haben

---

*) Sei S das spezifische Gewicht und D die Dichte irgend eines Körpers A, ferner s und d spezifisches Gewicht und Dichte eines andern Körpers B, und S_1 das spezifische Gewicht des Wassers, so hat man, dem Begriff der Dichte zu Folge, $D = \frac{S}{S_1}$ und $d = \frac{s}{S_1}$ und hieraus $D : d = S : s$, d. h. die Dichten der Körper A und B sind ihrem spezifischen Gewichte direkt proportional.

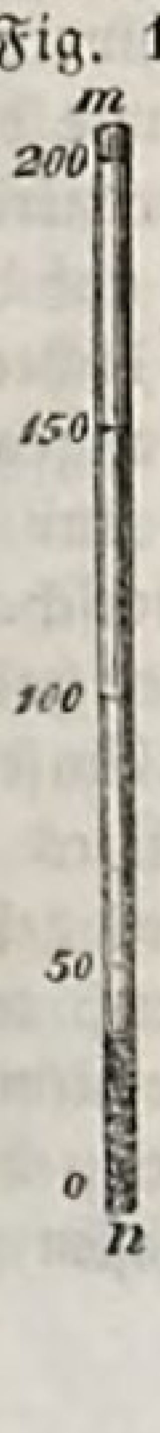
Fig. 192.



dann eine oder die andere der in Fig. 192 bei I bis III anschaulich gemachten Gestalten. Oberhalb b oder der Erweiterung c ist eine Scale verzeichnet, nach der man aus dem Theilstrich, bis zu welchem das Einsinken in einer Flüssigkeit erfolgt, die Dichte dieser letzteren erkennt und deren Hauptpunkt derjenige Punkt ausmacht, bis zu welchem das Instrument in reinem Wasser von bestimmter Temperatur einsinkt. Da das Instrument nach (80) S. 190 desto tiefer eintaucht, je geringer das spezifische Gewicht der betreffenden Flüssigkeit ist, so wird durch ein gehöriges Gewicht, das man dem Instrumente bei der Verfertigung gibt, dafür gesorgt, daß, wenn es zugleich sowohl für Flüssigkeiten, die spezifisch schwerer (dichter) als für solche, die spezifisch leichter (weniger dicht) als Wasser sind, dienen soll, der besagte Hauptpunkt, den wir in der Folge immer den Wasserpunkt nennen wollen, etwa um ein Drittel der ganzen Länge der Röhre von ihrem oberen Ende entfernt liege, hingegen nahe an dies obere Ende falle, wenn das Instrument blos für dichtere Flüssigkeiten als Wasser bestimmt ist, und endlich etwa in der Mitte (überhaupt etwas oberhalb jenes Punktes, bis zu welchem das Instrument immer wenigstens eintauchen muß, damit es mit Stabilität schwimmt) sich befinde, wenn es bloß für leichtere Flüssigkeiten als Wasser dienen soll. Gewöhnlich richtet man die Scalen-Aräometer, damit sie nicht zu lange werden und beim Einsenken keine zu hohe Flüssigkeitsmasse erfordern, nur für Flüssigkeiten ein, die dichter oder nur für solche, die weniger dicht sind als Wasser, so daß man für jede dieser zwei Flüssigkeitsgattungen eigene Aräometer hat. In Bezug auf die Bestimmung der übrigen Punkte der Scale und die Beschaffenheit dieser letzteren überhaupt unterscheiden sich die in wirklicher Anwendung befindlichen Scalen-Aräometer wesentlich von einander. Wir wollen die wichtigsten und gebräuchlichsten im Folgenden der Reihe nach kennen lernen.

Gay-Lussac's Volumeter. Es ist dies eine Glasröhre mn (Fig. 193), welche ganz der Beschaffenheit, wie die Röhre ab in Fig. 192, übrigens vom untern Ende n aus durch Theilstriche in gleiche Raumtheile eingetheilt und mittelst Schrote oder Quecksilber bei n so beschwert ist, daß sie in reinem Wasser von 3° R. sich gerade bis zu dem mit 100 bezeichneten Theilstrich eintaucht. Wie diese Eintheilung in gleiche Raumtheile zu Stande gebracht werden kann, soll bei einer andern Gelegenheit angegeben werden . . . (†). Sinkt nun das beschriebene Volumeter in irgend einer tropfbaren Flüssigkeit, deren Dichte zu finden ist, z. B. in concentrirter Schwefelsäure, bis zu einem bestimmten Theilstrich, z. B. zum 54sten, ein, so sind die Gewichte von 54 Raumtheilen dieser Flüssigkeit und von 100 Volumtheilen reinen Wassers einander gleich; jedes beträgt nämlich zu Folge (1 auf S. 190 gerade so viel als das Gewicht p der Röhre mn. Es ist demnach das Gewicht von 1 Volumtheil Wassers $= {}^{p}/_{100}$ und von 1 Volumtheil der andern Flüssigkeit $= {}^{p}/_{54}$, mithin die Dichte dieser Flüssigkeit ${}^{p}/_{54} : {}^{p}/_{100} = {}^{100}/_{54} = 1{\cdot}85$ . . . 1). Hieraus folgt, daß, wenn sich, allgemein gesprochen, das Volumeter in irgend einer Flüssigkeit bis zum r-ten Theilstrich eintaucht, deren Dichte $d = {}^{100}/_{r}$ sei . . . 2). So ist die Dichte eines Gemisches aus Wasser und Weingeist, in welchem das Volumeter bis zum 125sten Theilstrich einsinkt $= {}^{100}/_{125} = 0{\cdot}8$ . . . 3). Dieses Instrument gibt eine desto größere Genauigkeit (zeigt einen desto kleinern Unterschied in der Dichte an), je weiter die Theilstriche von einander abstehen, je dünner

Fig. 193.



also die Röhre im Verhältniß zu dem Volum des ganzen Instrumentes ist, und bildet das einfachste und rationellste aller Scalen-Aräometer. In der beschriebenen Gestalt einer der ganzen Länge nach cylindrischen Röhre fällt dasselbe aber, wenn es einen größeren Grad der Empfindlichkeit haben, die Röhre also dünn sein und die Theilstriche weiter von einander abstehen sollen, zu lang und deswegen für den Gebrauch unbequem aus, erfordert dann insbesondere eine tiefe Masse der Flüssigkeit, um deren Dichte es sich handelt; übrigens ist seine Verfertigung, wenn es einen größeren Grad von Genauigkeit geben soll, bezüglich der Volumtheilung schwierig oder wenigstens umständlich. Man erleichtert sich die Verfertigung eines Volumeters und beseitigt zugleich die erwähnte, aus der zu großen Länge des Instrumentes hervorgehende Unbequemlichkeit, indem man demselben die Form wie in Fig. 194 gibt, nämlich nur den Obertheil aus einer dünnen, aber genau cylindrischen Röhre ab bestehen läßt und an diesem nicht eine Volumscale zugleich für spezifisch schwerere (dichtere) und spezifisch leichtere (weniger dichte) Flüssigkeiten als Wasser anbringt, sondern diese Scale nur für Flüssigkeiten der ersteren oder der letzteren Art einrichtet. Der größere Abstand, der die Schrote oder das Quecksilber enthaltenden Kugel c von der Erweiterung e ist nöthig, damit das Instrument, selbst wenn die ganze Röhre ab aus der Flüssigkeit hervorsteht, noch mit Stabilität in senkrechter Lage schwimmt. Um nun an der Röhre ab eine Scale für Flüssigkeiten anzubringen, die dichter sind als Wasser, denke man sich das Gewicht des Instrumentes so regulirt, daß in reinem Wasser von 14° R. (man bestimmt die Dichten der Flüssigkeiten mittelst der Aräometer gewöhnlich in Bezug auf Wasser von der mittleren Temperatur 14° R.) bis zu einem nahe am obern Ende a gelegenen Punkt einsinkt, den man mit 100 bezeichnet. Gesetzt, man hätte, wie beim Volumeter in Fig. 193 das Volum des ganzen Instrumentes, vom Wasserpunkt 100 aus abwärts durch irgend ein Verfahren in 100 gleiche Raumtheile getheilt und die Raumtheile, die auf die Röhre ab Fig. 194 fallen, auf dieser mit Theilstrichen bezeichnet, so daß z. B. zum untersten Punkt b der 40ste Theilstrich zu stehen kömmt, so müßte sich dieses Instrument in Flüssigkeiten, die dichter sind als Wasser, offenbar bis zu dem eben so vielten Theilstrich, wie das Volumeter der Fig. 193, also in concentrirter Schwefelsäure, deren Dichte 1·85 ist [nach 1) S. 203] bis zum 54sten Theilstrich einsenken. Wir können nun diese Schlußweise auch umkehren und sagen: wenn man das Instrument der Fig. 194, nachdem daran der Wasserpunkt mit 100 bezeichnet worden, so mit einer Volumscale versehen will, daß es sich in spezifisch schwerern Flüssigkeiten als Wasser zu den eben so vielten Theilstrichen eintauchen soll, wie das Volumeter der Fig. 193, so muß an dem Punkt, bis zu welchem es in concentrirter Schwefelsäure einsinkt, der 54ste Theilstrich stehen. Man hat daher, um auf der Röhre ab des Instrumentes der Fig. 194 die gewünschte Volumscale für dichtere Flüssigkeiten als Wasser zu erhalten, das Instrument, nachdem auf vorn angegebene Weise der Wasserpunkt am oberen Ende mit 100 bezeichnet worden, nur in concentrirte Schwefelsäure von der Dichte 1·85, die man sich immer leicht verschaffen kann, einzutauchen (ob eine Schwefelsäure aber genau die besagte Dichte habe, kann stets leicht mittelst der hydrostatischen Wage ermittelt werden), den Einsenkungspunkt mit 54 zu bezeichnen, den Abstand dieses und des Wasserpunktes in $100 - 54 = 46$ gleiche Theile zu theilen und diese Eintheilung, so weit es geht, unter dem Punkt 54 (nämlich gegen b hin) auf die Röhre ab aufzutragen, wie dies in Fig. 194 anschaulich gemacht ist. Um auf ähnlichem Wege ein bequemes Volumeter für Flüssigkeiten, die weniger dicht als Wasser sind, zu erhalten, hat man, wie aus dem vorher Gesagten nun von selbst erhellet, folgendermaßen zu

Fig. 194.



verfahren. Man gebe dem für das Volumeter bestimmten Glasgefäße ac (Fig. 194) durch gehörige Belastung der Kugel c ein solches Gewicht, daß es sich in reinem Wasser von 14° R. gerade nur bis zum untersten Punkt b seines Halses ab eintaucht und bezeichne den Einsenkungspunkt mit 100. Nun nehme man ein Gemische von Wasser und Alkohol, das, wie man sich mittelst der hydrostatischen Wage oder mittelst eines bereits fertigen Aräometers vorher überzeugte, genau die Dichte 0·8 hat, in welchem daher nach Gleichung 3) auf S. 203 das in Fig. 193 dargestellte und somit auch jedes damit übereinstimmende andere Volumeter bis zum 125sten Theilstrich einsinken muß, tauche das Instrument in dieses Gemische, bezeichne den Eintauchungspunkt mit 125, theile den Abstand dieses und des Wasserpunktes 100 in $125 - 100 = 25$ gleiche Theile und trage die Theilung auch über den mit 125 bezeichneten Punkt (nämlich gegen a hin) auf der Röhre ab auf, so hat man das gewünschte Volumeter.

Wie man die einzelnen, die gleichen Volumtheile absondernden Theilstriche am zweckmäßigsten verzeichnet oder fixirt, wird im Verlaufe der Theorie der Scalen-Aräometer in Bezug auf alle diese Instrumente angegeben werden.

Es gibt noch andere Methoden, die Scale eines Volumeters zu verfertigen (das Volumeter zu graduiren); unter allen läßt sich aber das eben beschriebene Verfahren mit hinreichender Genauigkeit am leichtesten praktisch ausführen. Offenbar kann man sich der zwei oben angeführten Flüssigkeiten, d. i. der concentrirten Schwefelsäure von der Dichte 1·85 und des Gemisches aus Weingeist und Wasser von der Dichte 0·8 auch bedienen, um die Richtigkeit bereits fertiger Volumeter zu prüfen. Soll nämlich ein solches Instrument richtig genannt werden, so muß es in reinem Wasser von 14° R. genau bis zu dem mit 100 bezeichneten Theilpunkt und falls es für dichtere Flüssigkeiten als Wasser bestimmt ist, in der besagten Schwefelsäure bis zum 54sten, wenn es aber für Flüssigkeiten von geringerer Dichte als Wasser zu dienen hat, in dem erwähnten Gemische bis zum 125sten Theilstrich einsinken. Daß man zu gleichem Zwecke anstatt der concentrirten Schwefelsäure und des Gemisches aus Weingeist und Wasser auch andere passende Flüssigkeiten (die wir Kürze halber mit A und B bezeichnen wollen) von bekannten Dichten D und D_1 und wovon die eine A dichter, die andere B weniger dicht als Wasser ist, anwenden könne, versteht sich von selbst. Man hat dann nur aus der bekannten Dichte D oder D_1 nach Gleichung 2) auf S. 203 den Theilstrich r zu berechnen, bis zu welchem sich das Volumeter in der Flüssigkeit A oder B einzutauchen hat, und zu untersuchen, ob die Eintauchung auch wirklich bis zu diesem Theilstrich stattfindet. Prüft man das Instrument in Bezug auf mehrere Theilstriche der Scale, besonders wenn diese von einander weiter abstehen, so kann man in Betreff der Richtigkeit desselben um so mehr ein sicheres Urtheil fällen, als hiedurch zugleich die zur Richtigkeit aller Theilstriche der Scale unerläßliche Bedingung, daß die die Scale tragende Röhre überall gleich dick sei, einer genaueren Controlle unterworfen wird. Es erhellt hieraus, wie auch alle andern gleich nachher zu besprechenden Aräometer geprüft werden können.

Außer dem Volumeter, welches — wegen der Leichtigkeit, womit es sich verfertigen und prüfen läßt und womit man aus dessen Anzeigen durch eine einfache Rechnung die Dichten der Flüssigkeiten erhält [2) S. 203,] weit mehr angewendet zu werden verdient, als dies bis jetzt der Fall ist, sind in der Praxis noch andere Scalen-Aräometer im Gebrauche. Dahin gehören vor Allen: Die Dichtigkeitsmesser, d. i. die Aräometer, bei welchen die neben den Theilstrichen der Scale stehenden Zahlen unmittelbar die Dichten der Flüssigkeiten angeben, in die sie eingesenkt werden. Diese Instrumente haben ebenfalls eine der in der frühern Fig. 192 anschaulich gemachten Gestalten; bestehen aber gewöhnlich und am zweckmäßigsten aus einer (etwa 3—4 Linien dicken) cylindrischen Glasröhre, die, wie ab in besagter Fig. 192, an beiden Enden zugeschmolzen und der erforderlichen Stabilität wegen an dem einen Ende belastet ist. Man kann einen solchen Dichtigkeitsmesser so einrichten, daß er zugleich für dichtere und für weniger dichte Flüssigkeiten als Wasser dient, und dann muß der Wasserpunkt (der Punkt, bis zu welchem er in reinem Wasser von 14° R. einsinkt) etwa $\frac{1}{3}$ der ganzen Länge der Röhre vom oberen Ende dieser letzteren entfernt liegen. Meistens hat man aber für jede der besag-

ten Flüssigkeitsarten eigene Dichtigkeitsmesser, weil diese viel kürzer gemacht werden können und daher beim Gebrauche bequemer sind. Die Röhre hat dann bei Anfertigung des Instrumentes ein solches Gewicht zu erhalten, daß der Wasserpunkt, wenn das Instrument für dichtere Flüssigkeiten als Wasser gehört, ganz nahe an das obere Ende der Röhre, im entgegengesetzten Falle davon weit genug wegfällt, um oberhalb desselben die nöthigen Scale-Theilstriche für die Flüssigkeiten, welche weniger dicht als Wasser sind, anbringen zu können. Beim Graduiren der Dichtigkeitsmesser bildet der Wasserpunkt immer den Punkt, von dem man bei Bestimmung der übrigen Scale-Theilpunkte ausgeht, welche durch das im Folgenden beschriebene Verfahren bewerkstelligt wird. Um dieses Verfahren und die Gründe desselben gehörig zu begreifen, wollen wir annehmen, es handle sich um eine solche Graduirung, daß die Scale Dichtigkeitsunterschiede von $\frac{1}{100}$ anzeige (d. h. daß der erste Theilstrich oberhalb des Wasserpunktes, dem die Dichte 1 des Wassers entspricht, die Dichte 0·99, der zweite Theilstrich die Dichte 0·98, der dritte Theilstrich die Dichte 0·97 u. s. f.; der erste Theilstrich unter dem Wasserpunkte hingegen die Dichte 1·01, der zweite Theilstrich die Dichte 1·02, der dritte Theilstrich die Dichte 1·03 u. s. f. anzeige) und es stünde uns eine Reihe **A** von Flüssigkeiten zu Gebote, die, nach einander folgend, die Dichten 0·99; 0·98; 0·97; 0·96 u. s. w. haben; wir wären ferner auch im Besitze einer zweiten Reihe **B** von Flüssigkeiten, denen die Dichten 1·01; 1·02; 1·03; 1·04 u. s. f. eigen sind; so brauchte man nur, um die Scale des Dichtigkeitsmessers zu erhalten, die für denselben gewählte und durch gehörige Belastung dafür passend gemachte Röhre (nachdem daran vorher der Wasserpunkt bestimmt und mit 1 bezeichnet worden) nach und nach in die aufeinander folgenden Flüssigkeiten der Reihe **A** vorsichtig einsinken zu lassen, den Punkt, bis zu welchen dieses Einsinken in jeder Flüssigkeit stattfindet, mit einem Strich zu markiren und neben denselben die der betreffenden Flüssigkeit eigene Dichte anzuschreiben, so daß oberhalb des Wasserpunktes 1 eine Reihe von Theilstrichen entstünde, die in ihrer Aufeinanderfolge mit den Zahlen 0·99; 0·98; 0·97; 0·96 u. s. f. bezeichnet wären und die Scale für weniger dichte Flüssigkeiten als Wasser darstellen würden. Auf ganz ähnlichem Wege (nämlich durch successives Eintauchen der Röhre in die Flüssigkeiten der Reihe **B**, Markiren der Einsenkungspunkte und Anschreiben der die Dichten der betreffenden Flüssigkeiten bezeichnenden Zahlen 1·01; 1.02; 1·03; 1·04 u. s. w. neben diese Punkte) erhielte man auch die Scale für Flüssigkeiten, die dichter sind als Wasser und man hätte dann, um die Dichte irgend einer Flüssigkeit zu erfahren, das Instrument nur vorsichtig in diese Flüssigkeit einzusenken und die Zahl abzulesen, die neben dem Scalestrich steht, bis zu welchem das Einsinken stattfindet. Diese Zahl gäbe dann die Dichte der Flüssigkeit bis auf $\frac{1}{100}$ genau an. Allein diese empirische Graduirungsmethode ist wegen der großen Schwierigkeit, sich die erforderlichen beiden Reihen **A**, **B** von Flüssigkeiten zu verschaffen, nicht leicht ausführbar; sie ist aber auch entbehrlich: denn offenbar muß sich die (mit der Scale zu versehende) Röhre, wenn man ihr Gewicht entsprechend abändert, im Wasser genau bis zu den nämlichen Punkten eintauchen, bis zu welchen sie in den Flüssigkeiten von den Dichten 0·99; 0·98; 0·97 u. s. w. oder 1·01; 1·02; 1·03; 1·04 u. s. f. einsinken würde. Man darf daher nur die Gewichte ausmitteln, welche die Röhre nach und nach bekommen muß, damit sie im Wasser genau eben so tief eintaucht, wie in den Flüssigkeiten der vorbezeichneten Dichten, der Röhre diese Gewichte eines nach dem andern geben, dieselbe jedes Mal im Wasser einsinken lassen, den Punkt, bis zu welchem sie einsinkt, markiren und neben denselben die Zahl schreiben, welche die Dichte derjenigen anderen Flüssigkeit bezeichnet, in der die Röhre gerade so tief eintauchen muß, wie sie es eben im Wasser that, und die Scale ist fertig. Um also z. B. den Punkt zu finden, welcher der Dichte 0·79 entspricht (d. h. bis zu welchem sich die Röhre in einer Flüssigkeit von der Dichte 0·79

eintaucht) suche man das Gewicht p, welches die Röhre haben muß, damit sie in Wasser genau eben so tief einsinke, wie in einer Flüssigkeit von der Dichtigkeit 0·79; ertheile der Röhre dieses Gewicht (mache, daß ihr Gewicht gerade p betrage); senke sie in Wasser ein, bezeichne den Stand der Wasseroberfläche an ihr mit einem Striche und schreibe neben diesen Strich die Zahl 0·79, so wird die Röhre dann in jeder Flüssigkeit von der Dichte 0·79 immer bis zu diesem Strich einsinken müssen und folglich wird, wenn sie in irgend einer Flüssigkeit bis zum Strich 0·79 einsinkt, diese Flüssigkeit die Dichte 0·79 haben. Das Gewicht, welches die Röhre zum Behuf des eben bezeichneten Einsinkens im Wasser erhalten muß, läßt sich aber sehr leicht ermitteln, wie folgt. Es wird verlangt, daß sich die besagte Röhre in reinem Wasser von 14^0 **R.** und in einer Flüssigkeit **F** von der Dichte 0·79 gleich tief, d. i. bis zu dem nämlichen Volum (welches der Kürze halber v heißen mag) eintauche. Damit dies geschehen kann, ist nach Satz (83) auf S. 191 erforderlich, daß das Gewicht **P** der in Wasser um das Volum v einsinkenden Röhre sich zu dem Gewichte p, bei welchem sich die Röhre in der Flüssigkeit **F** um das nämliche Volum v eintaucht, direct verhalte wie das spezifische Gewicht **S** des Wassers zu dem spezifischen Gewichte s der Flüssigkeit **F**, also $P : p = S : s$ sei. Hieraus folgt $P = p \cdot \frac{S}{s}$ und da, nach Anmerkung auf S. 202, $\frac{s}{S}$ die Dichte der Flüssigkeit **F** darstellt, mithin $\frac{s}{S} = 0{\cdot}79$ und daher $\frac{S}{s} = \frac{1}{0{\cdot}79}$ ist, so hat man $P = \frac{p}{0{\cdot}79}$ ... (I. Hätte die in Rede stehende Flüssigkeit **F** irgend eine andere Dichte d, so hätte man durch vorstehende Schlüsse anstatt der Gleichung (I die Gleichung $P = \frac{p}{d}$ ... (II erhalten müssen. Dieser zu Folge hat man aber, um zu bewirken, daß die Röhre, welche bei dem ihr eigenen Gewichte p in einer Flüssigkeit von der Dichte d bis zu einem bestimmten Punkt eintaucht, in Wasser genau eben so tief eintauche, ihr (der Röhre) das Gewicht **P** zu geben, welches durch Division ihres ursprünglichen Gewichtes mit der Dichte der betreffenden Flüssigkeit erhalten wird. Ist diese Flüssigkeit weniger dicht als Wasser, mithin d kleiner als **1**, oder ein echter Bruch, so hat $\frac{p}{d}$ oder **P** einen größern Werth als p, d. h. handelt es sich um die Bestimmung der Scalepunkte für weniger dichte Flüssigkeiten als Wasser (vermittelst Eintauchen der Röhre in letzteres), so muß ihr ursprüngliches Gewicht p immer vermehrt werden und zwar beträgt die Vermehrung P_1, da nach Gleichung (II p in $P = \frac{p}{d}$ übergehen muß, $P - p = \frac{p}{d} - p = p\left(\frac{1}{d} - 1\right) = p \cdot \left(\frac{1-d}{d}\right)$, so daß man das Gewicht P_1, welches in jedem einzelnen Falle zu dem ursprünglichen Gewichte p der Röhre hinzugegeben (womit die Röhre belastet) werden muß, mittelst der Gleichung $P_1 = p\left(\frac{1-d}{d}\right)$ ... (III findet. Sind hingegen die Scalepunkte für dichtere Flüssigkeiten als Wasser zu bestimmen, so sind die in Gleichung (II für d zu setzenden Werthe größer als **1**, mithin ist $\frac{p}{d}$ oder **P** immer kleiner als p, d. h. es muß zum Behufe der Bestimmung der Scalepunkte für besagte Flüssigkeiten das ursprüngliche Gewicht p der Röhre vermindert werden, und es beträgt die nöthige Verminderung P_2, da nach Gleichung (II p in $P = \frac{p}{d}$ übergehen muß, $p - P = p - \frac{p}{d} = p\left(\frac{d-1}{d}\right)$,

so daß man das Gewicht P_2, welches in jedem einzelnen Falle von dem ursprünglichen Gewichte p der Röhre weggenommen (um welches die Röhre leichter gemacht) werden muß, mittelst der Gleichung $P_2 = p\left(\frac{d-1}{d}\right)$ . . . (IV ermittelt.

Hätte z. B. eine zu einem Dichtigkeitsmesser für weniger dichte Flüssigkeiten als Wasser bestimmte Röhre, — nachdem sie (durch hineingebrachte Schrote oder Quecksilber) so beschwert worden, daß der Wasserpunkt 1 vom obern Ende gehörig weit absteht, — ein Gewicht (Normalgewicht) von 200 Gran, so müßte, um die den Dichten 0·99; 0·98; 0·97; 0·96 u. s. w. entsprechenden Scalepunkte zu erhalten, dieses Gewicht der Röhre (zu Folge der Gleichung (III um folgende Größen vermehrt werden:

Für den der Dichte 0·99 entsprechenden Scalepunkt um	$200\left(\frac{1-0\cdot99}{0\cdot99}\right)$	Gr.	$= 2\cdot02$ Gran.
" " " 0·98 " " "	$200\left(\frac{1-0\cdot98}{0\cdot98}\right)$	"	$= 4\cdot08$ "
" " " 0·97 " " "	$200\left(\frac{1-0\cdot97}{0\cdot97}\right)$	"	$= 6\cdot18$ "
. . . .	. . .	.	. . .
" " " 0·70 " " "	$200\left(\frac{1-0\cdot70}{0\cdot70}\right)$	"	$= 85.71$ "

Wären hingegen die Scalepunkte für dichtere Flüssigkeiten als Wasser zu bestimmen und es betrüge das Normalgewicht der Röhre (indem sie bis zu den an ihr oberes Ende hinfallenden Wasserpunkt 1 einsinkt) z. B. 350 Gran, so müßte zu Folge der Gleichung (IV dieses Gewicht, damit man die den Dichten 1·01; 1·02; 1·03; 1·04 u. s. w. entsprechenden Scalepunkte erhält, correspondirend um folgende Größen geringer (die Röhre um diese Größen leichter) gemacht werden:

Für den der Dichte 1·01 entsprechenden Scalepunkt um	$350\left(\frac{1\cdot01-1}{1\cdot01}\right)$	Gr.	$= 3\cdot46$ Gran.
" " " " 1·02 " " "	$350\left(\frac{1\cdot02-1}{1\cdot02}\right)$	"	$= 6\cdot86$ "
" " " " 1·03 " " "	$350\left(\frac{1\cdot03-1}{1\cdot03}\right)$	"	$= 10\cdot19$ "
. . . .	. . .	.	. . .
" " " " 2·00 " " "	$350\left(\frac{2\cdot00-1}{2\cdot00}\right)$	"	$= 175\cdot00$ "

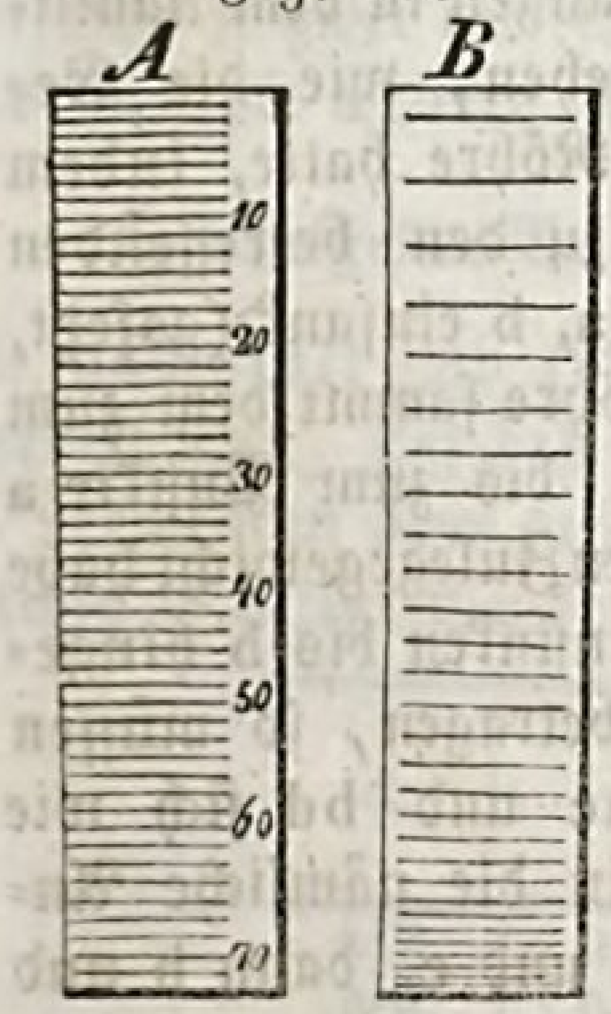
Die eben besprochenen Vermehrungen oder Verminderungen des Normalgewichtes der Röhre werden aber am leichtesten und sichersten folgendermaßen bewerkstelligt. Man läßt die bis auf die Graduirung sonst entsprechend hergerichtete Röhre oben offen und bringt die Gewichte p_1, p_2, p_3 u. s. w., um welche das Normalgewicht p der Röhre successive vermehrt werden muß, in die Röhre selbst hinein. Am besten und kürzesten kommt man dadurch zum Ziele, daß man sich vorher die Gewichtsdifferenzen $p_1 - p$, $p_2 - p_1$, $p_3 - p_2$, u. s. w. bestimmt, diese Differenzen durch genau abgewogene Mengen Schrote (oder Quecksilbers) dargestellt, und sie dann nacheinander in die Röhre einträgt. Sie fallen natürlich auf die im untern Röhrenende vorhandene Siegellackschichte hinab, mit welcher daselbst die, der Röhre ihr Normalgewicht und die nöthige Stabilität gebenden Schrote eingeschmolzen sind, und können nach erfolgter Bestimmung der Scalepunkte leicht wieder aus der Röhre herausgenommen (herausgeschüttet) werden. Beim Eintragen jeder der besagten Gewichtsdifferenzen in die Röhre, muß diese immer außer dem Wasser sich befinden, weil sie sonst (wenn sie nämlich im Wasser schwämme) durch den Stoß der auf die erwähnte Siegellackschichte herabfallenden Schrote zu einer größeren Tiefe im Wasser einsinken gemacht würde, als der Summe ihres Normalgewichtes und der in sie eingetragenen Gewichtsvermehrung entspricht. Wenn auch die Röhre gleich nachher sich wieder etwas erheben würde, so müßte doch die Wassersäule, welche an dem

aus dem Wasser hervorgetretenen Röhrenstücke zu Folge Adhäsion immer hängen bleibt und das Gewicht der Röhre über die besagte Summe vergrößert, machen, daß die endlich ganz in Ruhe gekommene Röhre wieder zu tief eintaucht . . . (†)

Um bei Bestimmung der Scalepunkte durch Verminderungen des Normalgewichtes der Röhre am sichersten und kürzesten Weg seinen Zweck zu erreichen, verfahre man wie folgt. Man wähle die Röhre von solcher Weite und Glasdicke, daß, um ihr durch eingefüllte Schrote ihr Normalgewicht (bei welchem sie im Wasser bis nahe ans obere Ende einsinkt) zu geben, so viele Schrote erforderlich sind, daß, wenn man davon einen der größten der nothwendig werdenden Verminderungen des Normalgewichtes gleichen Betrag aus der Röhre herausnimmt, doch noch Schrote genug zurück bleiben, um die Röhre mit Stabilität schwimmen zu machen. Gesetzt nun, man hat die Verminderungen, welche das Normalgewicht der Röhre successive erfahren muß, nach Gleichung (**IV** vorläufig berechnet und es seien diese von der größten zur kleinsten fortschreitend, durch q, q_1, q_2, q_3, q_4 u. s. w. vorgestellt, so nimmt man zuerst von den in der offen belassenen Röhre enthaltenen Schroten den Betrag q heraus, taucht hierauf die Röhre ins Wasser und erhält so den untersten Theilpunkt der zu bestimmenden Scale. Die nacheinander folgend höheren Scaletheilpunkte werden dann offenbar dadurch erhalten, daß man nun successive Schrot-Gewichtsmengen von den Beträgen $q-q_1$, q_1-q_2, q_2-q_3, q_3-q_4, u. s. w. in die Röhre, immer zu den darin bereits vorhandenen Schrotmengen und unter Berücksichtigung des oben unter (†) Gesagten, hinzugibt, und, wenn so endlich die ganze, der Röhre ihr Normalgewicht gebende Schrotmenge erreicht ist, diese durch eine Siegellackschichte in der Röhre einschmilzt. . . . (††)

Das Fixiren (Verzeichnen) der durch die angegebenen Verfahrungsweisen bestimmten Scalepunkte an der Röhre geschieht am zweckmäßigsten dadurch, daß man diese am obern Ende offen läßt, in selbe noch vor Bestimmung des Wasserpunktes einen zusammengerollten, entsprechend langen, schmalen und rechteckigen Streifen **A** Fig. 195 aus feinem Papier einschiebt, der voll paralleler, gegen seine Seiten senkrechter, sehr nahe an einander liegender und nummerirter Linien ist, diesen Streifen darin am oberen Ende mittelst eines ganz kleinen, zum Schmelzen gebrachten Siegellackstückchens unverrückbar befestigt, die Nummern derjenigen Linien notirt, mit welchen die den Vermehrungen oder Verminderungen des Normalgewichtes der Röhre entsprechenden Einsenkungspunkte dieser letzteren zusammenfallen, nachher den zusammengerollten Papierstreifen wieder von der Röhre losschmilzt, herausnimmt, aufrollt, die notirten Linien desselben in den nämlichen gegenseitigen Abständen auf einen zweiten, ganz gleichgestalteten, mit dem vorigen Streifen aus einem und demselben Papierbogen geschnittenen, mithin gleich schweren Streifen **B** überträgt *), die den notirten Linien entsprechenden Dichten dazuschreibt, diesen Streifen dann ebenfalls zusammenrollt, in die Röhre einschiebt, darin genau an derselben Stelle, wo sich der vorige Streifen befand, mittelst des an der Röhre zurückgebliebenen Siegellackstückchens wieder befestigt und hierauf die Röhre auch am oberen Ende zuschmilzt, jedoch so, daß dabei weder durch Hinwegnahme

Fig. 195.

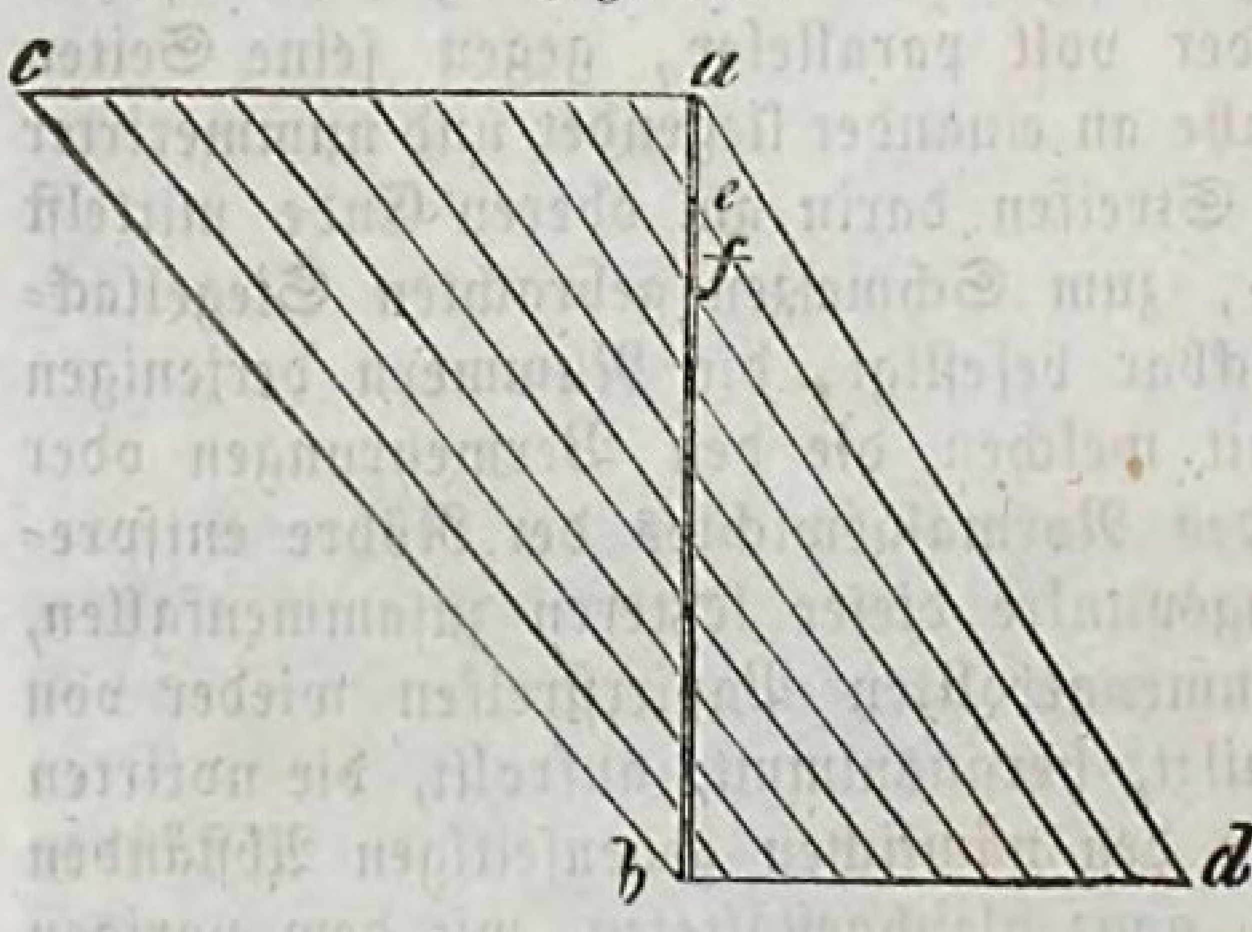


*) Zu diesem Ende wird der zweite Papierstreifen neben den ersten (den Hilfsstreifen) und ihm parallel so hingelegt, daß ihre oberen (und eben so auch ihre unteren) Ränder in die nämliche gerade Linie fallen, wie dies die vorstehende Fig. 195 anschaulich macht, dann an jede notirte Linie des Hilfsstreifens A ein Lineal angesetzt und in ihrer Verlängerung auch auf dem zweiten Streifen B eine Linie gezogen.

noch durch Hinzugabe von etwas Glas ihr ursprüngliches Gewicht auch nur im Geringsten geändert wird.

Man kann sich bei dem eben beschriebenen, von Brisson herrührenden Verfahren, Dichtigkeitsmesser zu graduiren, die Arbeit dadurch bedeutend abkürzen, daß man nicht alle Punkte der zu construirenden Scale durch Abwägen der Röhre im Wasser (d. i. durch Vermehrung oder Verminderung ihres Gewichtes darin) bestimmt, sondern auf diesem Wege nur gewisse, Dichten von größerem Unterschiede entsprechende Scalepunkte ermittelt, die andern, zwischen diese fallenden Punkte der Scale aber dadurch findet, daß man die Abstände je zweier durch Wägung bestimmter Theilpunkte nach einer von Schmidt angegebenen Methode zweckmäßig abtheilt. So können z. B., wenn bei dem zu construirenden Dichtigkeitsmesser die aufeinander folgenden Theilstriche der Scale immer um 0·01 verschiedene Dichten (die Dichten von 0·01 zu 0·01) anzeigen sollen, nur die Scalepunkte durch Wägung bestimmt werden, welche um 0·1 verschiedene Dichten (die Dichten von 0·1 zu 0·1) angeben, die neun Theilstriche, die zwischen je zwei solche Punkte noch hineinkommen müssen, damit das Instrument 0·01 der Dichte anzeigt, kann man nach der Schmidt'schen Theilungsmethode bestimmen. Es ist diese Methode aber nur dann anwendbar, wenn das zwischen die zwei Scalepunkte, deren Abstand getheilt werden soll, hineinfallende Röhrenstück genau cylindrisch ist. Wäre die ganze Röhre, wenigstens so weit die zu construirende Scale reicht, genau cylindrisch, so brauchte man nur die zwei äußersten Punkte der Scale durch Einsenken der Röhre in Wasser zu bestimmen und alle anderen Zwischenpunkte könnten durch die besagte Theilungsmethode gefunden werden, die in Folgendem besteht. Man zieht auf gespanntem Papier eine Linie, die gerade so lang ist, wie der Abstand der zwei Scalepunkte, zwischen welche andere solche Punkte eingeschaltet werden sollen (es stelle ab Fig. 196 eine solche Linie vor), errichte in den Endpunkten a, b derselben zwei darauf senkrechte, nach entgegengesetzten Seiten gerichtete andere gerade Linien ac und bd, deren Längen in dem nämlichen Verhältnisse stehen, wie die Gewichte, welche die Röhre hatte, indem sie im Wasser bis zu den betreffenden zwei Scalepunkten a, b einsank (gesetzt, das Gewicht der Röhre sammt dem zum Einsenken derselben bis zum Punkte a erforderlich gewesenen Zulegegewicht habe 400 Gran, beim Einsinken bis b hingegen nur 300 Gran betragen, so müssen die Längen von ac und bd sich wie 4:3 verhalten), theile hierauf sowohl die Linie ac als bd in die nämliche Anzahl gleicher Theile, jedoch so, daß zwischen den Endpunkten a und c, dann b und d gerade eben so viele Theilpunkte enthalten sind, als Scalepunkte zwischen a und b fallen sollen (angenommen den Punkten a und b entsprächen die Dichten 0·8 und 0·9 und zwischen a und b wären noch neun Scalepunkte einzuschalten, so daß dann Zehntel eines Zehntels, d. i. Hundertel der Dichte angezeigt würden, so müßte jede der Linien ac und bd neun Theilpunkte enthalten, mithin in zehn gleiche Theile getheilt werden) und verbinde endlich jeden Theilpunkt von ac mit dem correspondirenden Theilpunkt in bd durch eine gerade Linie. Die Punkte, in welchen diese Verbindungslinien die Linie ab durchschneiden (nämlich die Punkte e, f u. s. w.) sind die neuen Scalepunkte, welche um gleiche Differenzen (in unserem Beispiel um 0·01) wachsende Dichten bezeichnen.

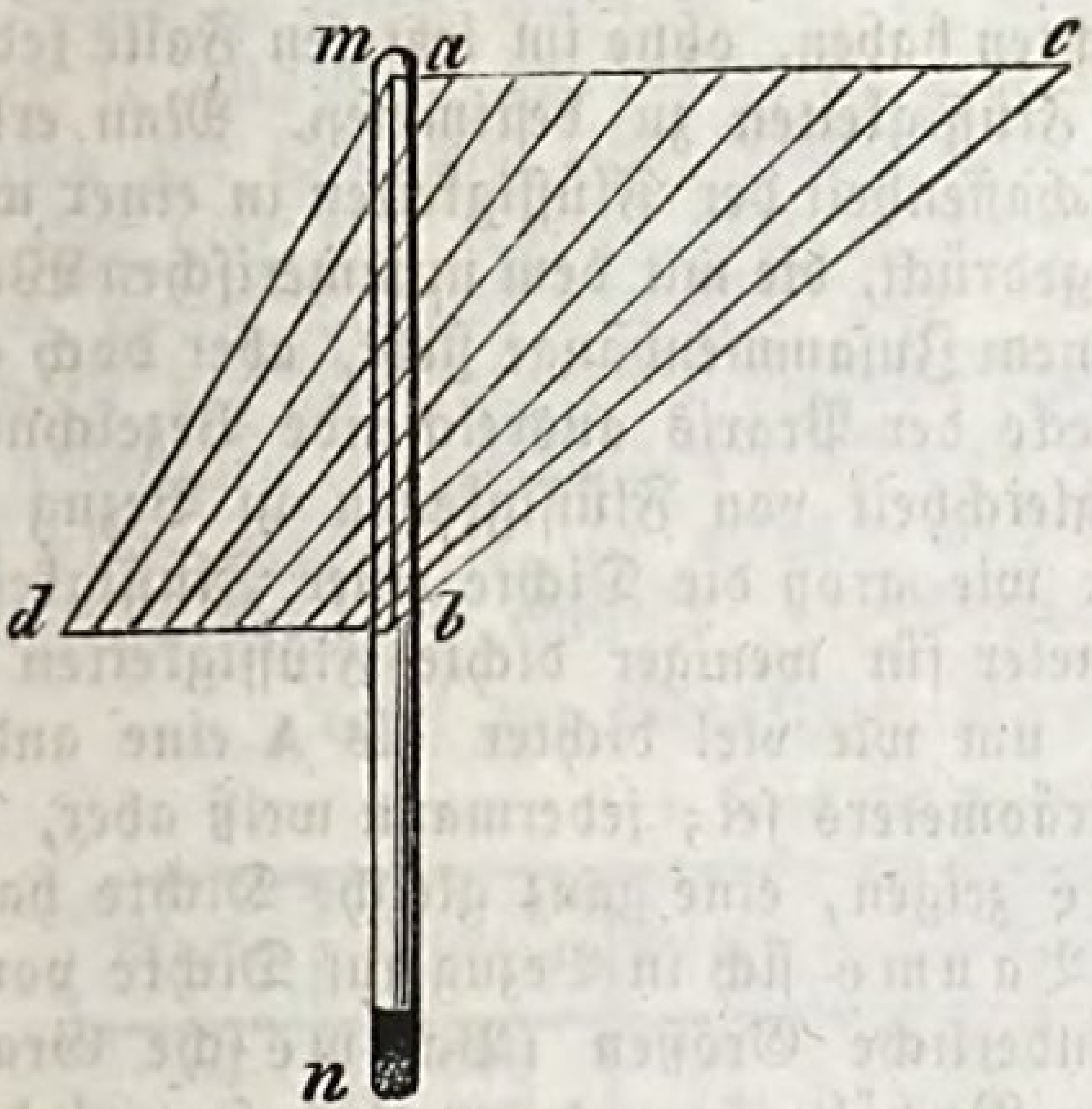
Fig. 196.



Hätte man (um das Schmidt'sche Theilungsverfahren noch durch ein Bei-

spiel zu erläutern) einen Dichtigkeitsmesser für dichtere Flüssigkeiten als Wasser zu graduiren, die Röhre mn (Fig. 197), soweit die Scale geht, wäre genau cylindrisch, die Scale hätte die Dichten von 1·00 bis 2·00 und zwar von Zehntel zu Zehntel anzugeben, das Gewicht, womit die Röhre im Wasser bis zum obersten, der Dichte 1 entsprechenden Punkt einsinkt, betrüge 280 Gran, wo dann [nach (IV. S. 208] die Röhre 140 Gran wägen (ihr Gewicht also um 280—140=140 Gr. vermindert werden) muß, damit sie sich zum untersten der Dichte 2 entsprechenden Punkt b einsenke, so wären an den Enden des Abstandes ab der beiden äußersten Scalepunkte a und b nach entgegengesetzten Seiten Senkrechte ac und bd zu errichten, deren Längen sich wie 280 : 140 oder wie 2 : 1 verhalten, jede derselben wäre in 10 gleiche Theile (in so viel Theile nämlich als die ganze Scale Unterabtheilungen erhalten soll) zu theilen und die Theilpunkte auf aus der Figur ersichtliche Weise durch gerade Linien zu verbinden. Die Durchschnittspunkte dieser Linien mit der Linie ab wären dann die gewünschten Scalepunkte. Da ein längeres Röhrenstück, wie es zur Aufnahme der ganzen Scale eines Dichtigkeitsmessers erfordert wird, nur äußerst selten seiner ganzen Länge nach genau cylindrisch ist, so wird man bei Graduirung eines solchen Instrumentes in den meisten Fällen genöthigt sein, so viele Scalepunkte nach der Brisson'schen Methode (durch wirkliches Einsenken der Röhre in Wasser) zu bestimmen, als nöthig sind, um die zwischen je zwei derselben liegenden Röhrenstücke als cylindrisch ansehen zu können, und nur die weitere Abtheilung der Scale nach Schmidt's Vorschrift ausführen.

Fig. 197.



Die folgende Tafel gibt die Werthe der Faktoren $\frac{1-d}{d}$ und $\frac{d-1}{d}$ an, womit nach (III und (IV auf S. 208 das Normalgewicht p der Röhre multiplizirt werden muß, um das Gewicht zu erhalten, um welches das besagte Normalgewicht zu vermehren oder zu vermindern ist, damit die Einsenkung der Röhre zu dem der Dichte d entsprechenden Punkt stattfinde, und zwar von $^1/_{10}$ zu $^1/_{10}$ der Dichte.

d	$\frac{1-d}{d}$	d	$\frac{d-1}{d}$	d	$\frac{d-1}{d}$
0·7	0·42857	1·1	0·09091	1·6	0·37500
0·8	0·25000	1·2	0·16667	1·7	0·41176
0·9	0·11111	1·3	0·23077	1·8	0 44444
		1·4	0·28571	1·9	0·47368
		1·5	0·33333	2·0	0·50000

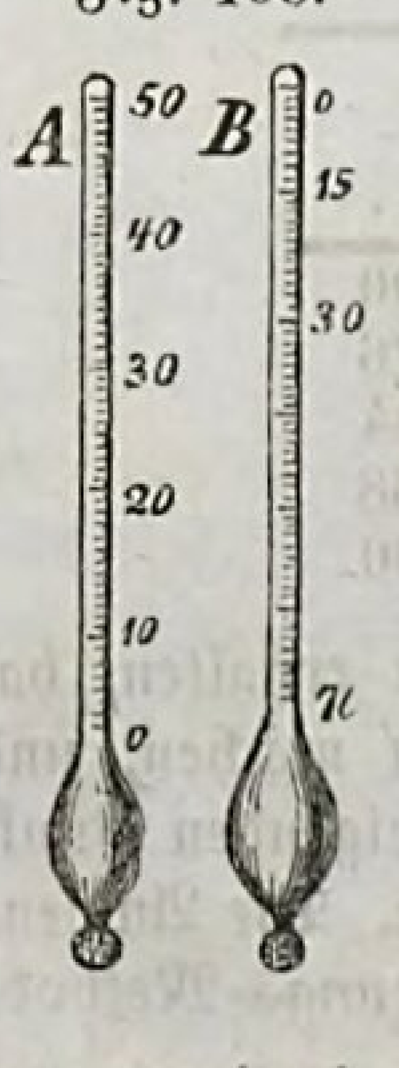
Um z. B. den der Dichte 1·3 entsprechenden Scalepunkt zu erhalten, hat man das Normalgewicht p der Röhre um p . 0·23077 geringer zu machen, und damit sich die Röhre im Wasser z. B. bis zu dem die Dichte 0·8 anzeigenden Punkt einsenke, muß ihr Normalgewicht p um p . 0·25000 vermehrt werden. Die Anwendung dieser Tabelle wird die Arbeit bei der Brisson'schen Graduirungs-Methode bedeutend abkürzen.

Aräometer mit willkürlicher Scale. Weit mehr im Gebrauch als die zwei bisher betrachteten, auf wissenschaftliche Prinzipien gegründeten Instru-

mente sind, wenigstens in den Gewerben, aus bloßer Anhänglichkeit an das einmal Gewohnte, andere Aräometer, deren Scale keine wissenschaftliche Grundlage hat, sondern eine rein empirische, willkürlich gewählte ist und welche unmittelbar nicht die Größe der Dichte einer Flüssigkeit angeben, sondern nur anzeigen, ob zwei oder mehrere Flüssigkeiten einerlei oder verschiedene Dichten haben, ohne im letzteren Falle jedoch das Zahlenverhältniß der Dichten dieser Flüssigkeiten zu bestimmen. Man erhält durch diese Instrumente die Dichtigkeitsbeschaffenheit der Flüssigkeiten in einer willkürlichen Maßeinheit, Grad genannt, ausgedrückt, die mit dem nummerischen Werth dessen, was man Dichte heißt, in gar keinem Zusammenhange steht, aber doch eine verständliche und für die gewöhnlichen Zwecke der Praxis ausreichende Bezeichnung der Gleichheit oder des Grades der Ungleichheit von Flüssigkeiten in Bezug auf ihre Dichte gestattet. Niemand weiß z. B. wie groß die Dichte einer Flüssigkeit **A** sei, in welcher ein Baumé'sches Aräometer für weniger dichte Flüssigkeiten als Wasser 40 Grade zeigt, eben so wenig, um wie viel dichter als **A** eine andere solche Flüssigkeit **B** von 30° desselben Aräometers sei; jedermann weiß aber, daß alle derlei Flüssigkeiten, die 40° Baumé zeigen, eine ganz gleiche Dichte haben und daß jede dieser Flüssigkeit von 30° Baumé sich in Bezug auf Dichte von **A** um eben so viele bestimmte und unveränderliche Größen (Baumé'sche Grade) unterscheide, wie die Flüssigkeit **B**, also im Verhältniß zu **A** um eben so viel dichter sei, wie diese. Unter den Aräometern mit willkürlicher Scale, von welchen übrigens in Bezug auf Gestalt und Materiale, woraus sie verfertigt werden, das im Eingang von Aräometern überhaupt Gesagte gilt, muß vor allen das am meisten in Anwendung befindliche und gerade vorher Beispiels halber angeführte Baumé'sche Aräometer betrachtet werden.

Es gibt zweierlei Instrumente dieser Art, eines für weniger dichte und eines für dichtere Flüssigkeiten als Wasser (wir wollen im Folgenden der Kürze wegen erstere Flüssigkeiten immer leichte und letztere immer schwere heißen). Die Scale für leichte Flüssigkeiten wird nach Baumé's Angabe dadurch construirt, daß man die betreffende Röhre zuerst in reines Wasser von 14° **R.** und hierauf in eine Lösung von 1 Gew. Theil reinen Kochsalzes in 9 Gew. Theilen reinen Wassers (die Lösung muß natürlich wieder die Temperatur von 14° **R.** haben) senkt, den ersteren Einsenkungspunkt (dessen Abstand vom obern Röhrenende die zur Aufnahme der übrigen Scalepunkte erforderliche Größe haben muß) mit 10, den Einsenkungspunkt in der Salzlösung hingegen mit 0 bezeichnet, den Abstand dieser zwei Punkte in 10 gleiche Theile theilt und noch 40 solcher Theile oberhalb des mit 10 bezeichneten Wasserpunktes aufträgt. In Fig. 198 sieht man bei **A** ein solches Instrument. Die Graduirung der Aräometer für schwere Flüssigkeiten geschieht durch Eintauchen der Röhre zuerst in reines Wasser von 14° **R.**, nachher in eine ebenfalls 14° **R.** warme Lösung von 15 Gew. Theilen Kochsalzes in 85 Gew. Theilen Wasser. Es wird dann der nahe an das obere Ende der Röhre zu liegen kommende Wasserpunkt mit 0, der Einsenkungspunkt in der Salzlösung mit 15 bezeichnet, der Abstand beider Fundamentalpunkte in 15 gleiche Theile getheilt und 60 bis 80 solcher Theile auch unter dem mit 15 bezeichneten Punkt aufgetragen, wie man in Fig. 198 bei **B** sieht.

Fig. 198.



Sollen die (an verschiedenen Orten, zu verschiedenen Zeiten und von verschiedenen Personen verfertigten) Baumé'schen Aräometer in ihren Anzeigen übereinstimmen — und nur unter dieser Bedingung sind sie brauchbar, — so muß das bei ihrer Graduirung anzuwendende Kochsalz und Wasser immer die nämliche Beschaffenheit haben; es darf daher nur wohlgereinigtes und getrocknetes Kochsalz, nur destillirtes Wasser und die Lösung nur von bestimmter Temperatur (14° **R.**) angewendet werden,

und überdies muß die Röhre, so weit die Scale geht, überall gleich dick (genau cylindrisch) sein. Sehr oft sind bei den im Gebrauche befindlichen Baumé'schen Aräometern alle diese Bedingungen nicht ganz erfüllt und am häufigsten ist gegen die letzte Bedingung gesündigt; kein Wunder daher, daß diese Instrumente in ihren Angaben oft so stark differiren. Da die Baumé'schen Aräometer so allgemein im Gebrauche sind und sich vermöge der Ausdehnung ihrer Scalen zur Prüfung aller Flüssigkeiten mit Ausnahme des Quecksilbers eignen, so folgt hier eine Tafel, mittelst welcher man durch ein solches Instrument wie durch einen Dichtigkeitsmesser auch die wirklichen (auf das Wasser bezogenen) Dichten der Flüssigkeiten bestimmen kann, indem diese Tafel die den Baumé'schen Graden entsprechenden wirklichen Dichten angibt. Aus ihr findet man z. B., daß eine Flüssigkeit, in welcher das Aräometer für schwere Flüssigkeiten bis zum Theilstrich 16 einsinkt, die Dichte 1·125 habe.

Tafel zur Reduktion Baumé'scher Grade auf Dichten.

I. Für schwere Flüssigkeiten.

Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.
0	1·000	18	1·143	36	1·334	54	1·601
1	1·007	19	1·152	37	1·346	55	1·618
2	1·014	20	1·162	38	1·359	56	1·638
3	1·022	21	1·171	39	1·372	57	1·659
4	1·029	22	1·180	40	1·384	58	1·678
5	1·036	23	1·190	41	1·398	59	1·698
6	1·044	24	1·199	42	1·412	60	1·718
7	1·052	25	1·210	43	1·426	61	1·739
8	1·060	26	1·221	44	1·440	62	1·760
9	1·067	27	1·231	45	1·454	63	1·782
10	1·075	28	1·242	46	1·470	64	1·804
11	1·083	29	1·252	47	1·485	65	1·827
12	1·091	30	1·261	48	1·501	66	1·850
13	1·100	31	1·275	49	1·516	67	1·874
14	1·106	32	1·286	50	1·532	68	1·898
15	1·116	33	1·298	51	1·549	69	1·922
16	1·125	34	1·309	52	1·566	70	1·947
17	1·134	35	1·321	53	1·583		

II. Für leichte Flüssigkeiten.

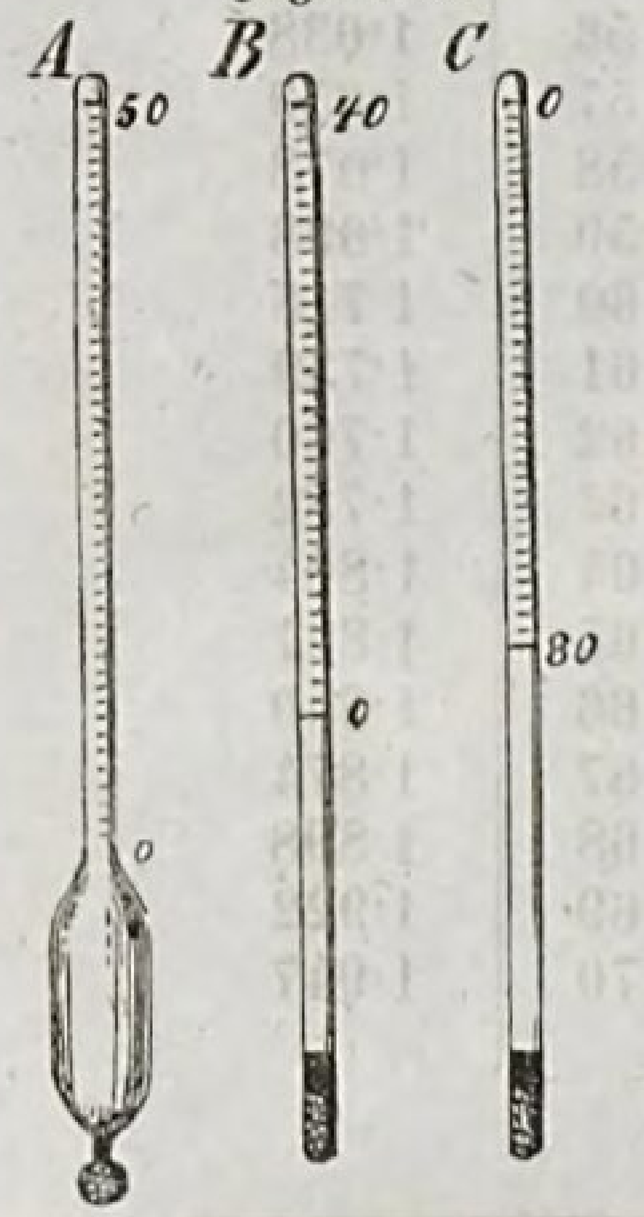
Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.	Grade.	Dichte.
10	1·000	23	0·915	36	0·844	49	0·782
11	0·993	24	0·909	37	0·838	50	0·778
12	0·986	25	0·903	38	0·833	51	0·773
13	0·979	26	0·898	39	0·829	52	0·769
14	0·972	27	0·892	40	0·824	53	0·765
15	0·966	28	0·886	41	0·819	54	0·760
16	0·959	29	0·881	42	0·814	55	0·756
17	0·952	30	0·875	43	0·809	56	0·752
18	0·946	31	0·870	44	0·802	57	0·748
19	0·940	32	0·864	45	0·800	58	0·744
20	0·933	33	0·859	46	0·796	59	0·739
21	0·927	34	0·854	47	0·791	60	0·735
22	0·921	35	0·849	48	0·787		

Um einzusehen, wie sich eine solche Tafel entwerfen lasse, ist blos zu bedenken, daß man, um die, einem bestimmten Baumé'schen Grad, z. B. dem 30° des Aräometers für leichte Flüssigkeiten, entsprechende Dichte zu finden, nur das Gewicht p des Instrumentes so lange zu vermehren braucht, bis dieses

in reinem Wasser von 14° R. genau zum Theilstrich 30 einsinkt und dann aus der erforderlich gewesenen Gewichtsvermehrung P_1 und dem ursprünglichen Gewichte p nach Gleichung (III auf S. 208 die dem 30. Grad entsprechende Dichte d, d. i. die Dichte derjenigen Flüssigkeit berechnen kann, in welche das Instrument durch sein ursprüngliches Gewicht p allein ebenfalls bis zu dem nämlichen Theilstrich 30 einsinken muß. Daß zur Auffindung der Dichten, welche den Graden des Aräometers für schwere Flüssigkeiten entsprechen, auf ähnliche Art, jedoch unter geeigneter Verminderung des Gewichtes p des Aräometers, die Gleichung (IV auf S. 208 führe, versteht sich von selbst. In die Klasse der Aräometer mit willkürlichen, empirischen Scalen gehören auch das — ebenfalls noch sehr verbreitete — Aräometer von Cartier und das von Beck, welche beide nur Nachahmungen des Baumé'schen Aräometers sind. Das von Cartier dient nur für leichte Flüssigkeiten und unterscheidet sich von jenem nach Baumé nur durch die Größe der Grade. 15° Cartier sind gerade so groß wie 16° Baumé, und an dem Punkte, bis zu welchen das Instrument im Wasser einsinkt, steht bei Cartier nicht 10 wie bei Baumé, sondern 11.

Das Beck'sche Aräometer hat wie das Baumé'sche zwei Scalen, eine für leichte, die andere für schwere Flüssigkeiten. Die zwei Fundamentalpunkte beider Scalen bilden die Einsenkungspunkte in reinem Wasser von 10° R. und in einer Flüssigkeit von 0·85 Dichte. Der Wasserpunkt wird immer mit 0 bezeichnet und der 30. Theil des Abstandes beider Fundamentalpunkte bildet einen Aräometergrad. Bei dem Instrumente für leichte Flüssigkeiten bildet der Wasserpunkt 0 den untersten Punkt der Scale und es werden von diesem aus nach aufwärts noch 40 der besagten Aräometergrade (d. i. 30stel des Abstandes der Fundamentalpunkte) aufgetragen. Bei den Aräometern für schwere Flüssigkeiten steht der Wasserpunkt 0 am obersten Ende der Röhre und von diesem aus nach abwärts sind 80 Grade der vorerwähnten Größe (30stel des Fundamentalabstandes) verzeichnet. In Fig. 199 sieht man bei A ein Aräometer nach Cartier und bei B und C die Aräometer für leichte und schwere Flüssigkeiten nach Beck. Den empirischen, nicht wissenschaftlichen Aräometern wäre endlich noch jenes von Richter anzureihen. Da dasselbe aber bereits ganz außer Gebrauch gekommen, so erscheint seine nähere Besprechung überflüssig. Nachfolgende Tafeln enthalten die den Aräometergraden nach Cartier und Beck entsprechenden Dichten.

Fig. 199.



Tafel zur Reduktion der Grade nach Cartier und Beck auf Dichten.

I. Für schwere Flüssigkeiten.

Gr.	Beck.	Gr.	Beck.	Gr.	Beck.	Gr.	Beck.	Gr.	Beck.	Gr.	Beck.
0	1·0000	13	1·0828	26	1·1806	39	1·2977	52	1·4407	65	1·6190
1	1·0059	14	1·0897	27	1·1888	40	1·3077	53	1·4530	66	1 6346
2	1·0119	15	1·0968	28	1·1972	41	1·3178	54	1·4655	67	1·6507
3	1·0180	16	1·1039	29	1·2057	42	1·3281	55	1·4783	68	1·6665
4	1·0241	17	1·1111	30	1·2143	43	1 3386	56	1·4912	69	1·6832
5	1·0308	18	1 1184	31	1·2230	44	1·3492	57	1·5044	70	1 7000
6	1·0366	19	1·1258	32	1·2319	45	1·3600	58	1·5179	71	1·7172
7	1·0429	20	1·1333	33	1·2409	46	1·3710	59	1·5315	72	1·7347
8	1·0494	21	1·1409	34	1·2500	47	1·2821	60	1·5454	73	1·7526
9	1·0559	22	1 1489	35	1·2593	48	1·3934	61	1·5596	74	1·7708
10	1·0625	23	1·1565	36	1·2687	49	1·4050	62	1·5741	75	1·7895
11	1·0692	24	1·1644	37	1·2782	50	1·4167	63	1·5888	76	1·8085
12	1·0759	25	1·1724	38	1·2879	51	1·4286	64	1·6038		

II. Für leichte Flüssigkeiten.

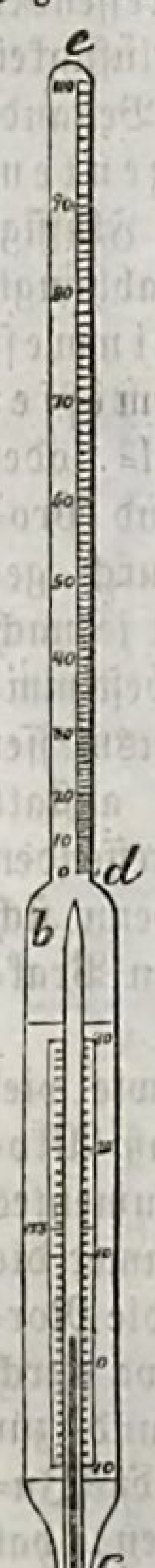
Gr.	Cartier.	Beck.	Gr.	Cartier.	Beck.	Gr.	Cartier.	Beck.	Gr.	Cartier.	Beck.
0	.	1·0000	16	0·962	0·9139	32	0.859	0·8415	48	.	0·7800
1	.	0·9941	17	0·955	0·9090	33	0·853	0·8374	49	.	0·7763
2	.	0·9883	18	0 948	0·9042	34	0·848	0·8333	50	.	0·7727
3	.	0·9826	19	0·941	0·8994	35	0·842	0·8292	51	.	0·7692
4	.	0 9770	20	0·934	0 8947	36	0·837	0·8252	52	.	0·7658
5	.	0·9714	21	0·928	0·8900	37	0·831	0·8212	53	.	0·7623
6	.	0·9659	22	0·921	0·8854	38	0·826	0·8173	54	.	0·7589
7	.	0·9604	23	0·914	0·8808	39	0·821	0·8133	55	.	0 7556
8	.	0·9550	24	0·908	0·8762	40	0·815	0·8095	56	.	0·7522
9	.	0·9497	25	0·901	0·8717	41	0·810	0·8061	57	.	0·7489
10	.	0·9444	26	0·895	0·8673	42	0·805	0·8018	58	.	0·7456
11	.	0·9392	27	0·889	0·8629	43	0·800	0·7981	59	.	0·7423
12	0.992	0·9340	28	0·883	0·8585	44	.	0·7944	60	.	0 7391
13	0 985	0·9289	29	0·877	0·8542	45	.	0·7907			
14	0·977	0 9239	20	0·871	0·8500	46	.	0·7871			
15	0·970	0·9189	31	0·865	0·8457	47	.	0 7834			

Besondere Aräometer. Außer den bisher beschriebenen Aräometern, welche, da sie sich zur Prüfung aller Flüssigkeiten eignen, allgemeine Aräometer heißen, gibt es noch sogenannte besondere Aräometer, die nämlich nur für gewisse Flüssigkeiten dienen und zwar für solche, welche Gemische von verschiedenen Flüssigkeiten oder von Flüssigkeiten und darin aufgelösten festen Stoffen (z. B. Salzen) sind. Diese Instrumente zeigen nicht die Dichten der betreffenden Flüssigkeiten, sondern geben gewöhnlich an, wie viel in einer solchen Flüssigkeit Hunderttheile (Prozente) ihres Volums oder ihres Gewichtes von einem Bestandtheil derselben enthalten sind. Sie heißen deswegen überhaupt Prozenten-Aräometer und man begreift, daß es derlei Instrumente nur für solche Flüssigkeiten geben könne, deren Dichte von der Menge eines ihrer Bestandtheile abhängt. Alle unter den Namen: Alkoholometer, Branntweinwage, Weinmesser, Mostmesser, Bierwage, Milchmesser (Laktometer), Zuckermesser (Sacharometer), Laugenwage, Gradirwage, Solwage, Sol- oder Salzspindel, Säuremesser u. s. w. vorkommenden Instrumente sind Prozenten-Aräometer. Ihre Graduirung gründet sich immer auf vorherige, durch genaue Versuche bewerkstelligte Ermittlung der Dichten, die eine Flüssigkeit je nach der in ihr vorhandenen Anzahl von Volum- oder Gewichtsprozenten eines bestimmten Stoffes besitzt, und wird nach diesen Dichten auf die für die Dichtigkeitsmesser beschriebene Art bewerkstelligt. An den Theilstrichen der Scale stehen aber anstatt der denselben entsprechenden Dichten die Mengen der Prozente des betreffenden Stoffes verzeichnet, welche in der bestimmten Flüssigkeit enthalten sind, wenn sich das Instrument in derselben bis zu diesen Theilstrichen einsenkt. Die für den Praktiker wichtigsten Prozenten-Aräometer sind:

1. Das Alkoholometer von Tralles, dessen Scale anzeigt, wie viel Volum-Prozente Alkohol (von 0·7939 Dichte) im Weingeiste (wie viel Maß Alkohol in 100 Maß der Flüssigkeit) enthalten sind. Beim Gebrauch dieses Instrumentes muß, sollen seine Anzeigen richtig sein, die damit zu prüfende Flüssigkeit immer die Temperatur 12·5° R., oder ganz genau, 12·444° R. d. i. 60° Fahrenheit (die Normaltemperatur des Instrumentes) haben, die man derselben (im Sommer etwa durch ihr Eintauchen in, aus einem tiefen Brunnen frisch geschöpftes Wasser und zur Winterzeit in geheiztem Zimmer) stets sehr leicht ertheilen kann. Um jedoch das Instrument auch bei andern Temperaturen des Weingeistes brauchen zu können, hat Tralles Tabellen berechnet, mittelst welcher man die unmittelbaren Anzeigen des

Alkoholometers in Bezug auf die Temperatur corrigiren ... (†), d. h. für jede Anzahl Alkoholprozente, welche das Instrument bei einer von seiner Normaltemperatur (12·5° R.) verschiedenen Temperatur t der geprüften Flüssigkeit unmittelbar anzeigt, jene Anzahl Alkoholprozente finden kann, die das Instrument in der nämlichen Flüssigkeit angezeigt haben würde, wenn diese anstatt der Temperatur t die besagte Normaltemperatur gehabt hätte. Wir halten es jedoch für überflüssig, diese Tabellen hier mitzutheilen, weil, wie ihr Inhalt lehrt, das Tralles'sche Alkoholometer vorzüglich innerhalb der Scalepunkte 20 und 80) bei einer Temperatur t des in Untersuchung genommenen Weingeistes den Alkoholgehalt desselben sehr nahe gerade um eben so viele halbe Prozente zu groß oder zu klein angibt, als dieser Weingeist mehr oder weniger Réaumur'sche Temperaturgrade als 12·5 hatte, so daß die unter (†) besagte Correction sich einfach dadurch bewerkstelligen läßt, daß man die durch das Instrument unmittelbar angezeigte Anzahl Alkoholprozente um n halbe Procente entweder vermindert oder vermehrt, je nachdem die Temperatur der geprüften Flüssigkeit um n Grade mehr oder weniger als die Normaltemperatur 12·5° R. betrug ... (††). Um nun beim Gebrauche des Instrumentes zugleich mit der Beobachtung des Scalenpunktes, bis zu welchem es im zu prüfenden Weingeiste einsinkt, auch die Temperatur dieses Weingeistes und zwar gerade an der Eintauchungsstelle des Instrumentes genau zu erfahren und darnach die an dem besagten Scalenpunkte verzeichnete Anzahl Alkoholprozente in der angegebenen Weise corrigiren zu können, ist am Tralles'schen Alkoholometer in der zweckmäßigsten Form, welche durch Fig. 200 anschaulich gemacht wird, zugleich ein Thermometer ab vorhanden. Das Quecksilber desselben, insbesondere das in der Kugel a, gibt dem Alkoholometer die beim Eintauchen erforderliche Stabilität. Die Thermometerröhre b ist in dem weiteren Glasröhrenstücke cd eingeschlossen, indem dieses Stück bei c mit der Thermometerröhre zusammengeschmolzen ist. Die Thermometerscale ist auf einer in cd enthaltenen und daran mit einem Stückchen geschmolzenen Siegellack's unverrückbar festgemachten Papierrolle vorgezeichnet, und auf dieser Scale ist der Normaltemperaturgrad 12·5° durch einen längeren und anders gefärbten Theilstrich auffallend hervorgehoben. Das engere Glasröhrenstück de enthält die Prozentenscale, welche ebenfalls auf einer in de eingeschobenen und darin unverrückbar mit Siegellack befestigten Papierrolle verzeichnet ist. Anstatt die Theilpunkte der Thermometerscale mit den die Temperaturgrade angebenden Zahlen zu bezeichnen, können sie, zu größerer Bequemlichkeit beim Gebrauche des Alkoholometers, gleich mit den Zahlen bezeichnet werden, welche die Anzahl Prozente angeben, um welche bei den diesen Theilpunkten entsprechenden Temperaturen die vom Alkoholometer unmittelbar angezeigten Prozentezahlen (wie unter (††) gezeigt wurde) zu vermindern oder zu vermehren sind.

Fig. 200.



Dem Tralles'schen Alkoholometer ähnlich ist das Centesimal-Alkoholometer von Gay-Lussac. Dasselbe gibt den Alkoholgehalt eines Weingeistes auch in Volum-Prozenten. Die Scale ist aber für die Temperatur 12° R. der zu prüfenden Flüssigkeit und für Alkohol von der Dichte 0·7947 entworfen.

2. Richter's Alkoholometer gibt den Alkoholgehalt in weingeistigen Flüssigkeiten unmittelbar nach Gewichtsprozenten an; es ist für die Temperatur 16° R. und unter der Annahme, die Dichte des absoluten Alkohols sei 0·792, construirt. Unter den Alkoholometern verdienen das von Tralles und von Gay-Lussac das meiste Vertrauen; ersteres ist in Preußen, und seit Kurzem auch in Oesterreich, letzteres in Frankreich gesetzlich eingeführt. Die angeschlossene Tabelle dient zur Verwandlung der Tralles'schen Volums-Prozente in Gewichtsprozente und umgekehrt:

Vol.-Prozente	Gew.-Prozente	Vol.-Prozente	Gew.-Prozente	Vol.-Prozente	Gew.-Prozente	Gew.-Prozente	Vol.-Prozente	Gew.-Prozente	Vol.-Prozente	Gew.-Prozente	Vol.-Prozente
0	0	35	28·99	70	62·51	0	0	35	42·25	70	78·40
5	4·00	40	33·39	75	67·93	5	6·25	40	47·92	75	82·80
10	8·05	45	37·90	80	73·59	10	12·42	45	53·43	80	86·97
15	12·15	50	42·52	85	79·50	15	18·52	50	58·79	85	90·88
20	16·28	55	47·29	90	85·75	20	24·57	55	63·97	90	94·46
25	20·46	60	52·20	95	92·46	25	30·55	60	68·97	95	97·61
30	24·69	65	57·25	100	100·00	30	36·45	65	73·79	100	100·00

Endlich sind auch noch Aräometer für weingeistige Flüssigkeiten im Gebrauch, deren Scale ganz nach denselben Prinzipien wie bei den Prozenten-Alkoholometern construirt ist, aber den Alkoholgehalt nicht nach Prozenten des Volums, sondern nach andern bestimmten Volumtheilen angibt. Dahin gehört die österreichische Branntweinwage, mittelst welcher man, ebenfalls unter Zuhilfenahme einer den oben erwähnten Tralles'schen Tabellen ähnlichen Tabelle, die Anzahl Maße Alkohol von 0·7932 Dichte erhält, die in einem Eimer (40 Maß) Weingeist enthalten sind. Von den übrigen Scalen-Aräometern, welche zur Prüfung von Salzlösungen, Getränken u. s. w. dienen, erfüllen die für einfache Lösungen bestimmten, wie z. B. die Laugenwagen, Pottaschenwagen, Soolwagen, Salpeterspindeln, Säure- und Zuckermesser vollkommen ihren Zweck, indem man aus ihrer empirischen Scale entweder unmittelbar oder mit Hilfe einer Tabelle den Gehalt der Flüssigkeit an Aetzkali, Pottasche, Kochsalz, Salpeter, Säure oder Zucker erfährt. Die für zusammengesetztere Flüssigkeiten bestimmten Instrumente dieser Art, wie z. B. die Wein-, Bier-, Most-, Milch- und Lohbrüh-Messer entsprechen aber ihrem Zwecke nicht: denn sie geben keine verläßlichen Anzeigen, da die Güte der Flüssigkeiten, für die sie bestimmt sind, nie allein von ihrer Dichte abhängt, ihnen auch Substanzen beigemengt sein können, welche die Dichte als Kennzeichen der Aechtheit trüglich machen, die Anzeigen dieser Instrumente aber nur durch die Dichte der betreffenden Flüssigkeiten bestimmt werden.

Bevor wir die Scalen-Aräometer verlassen, soll mit Bezug auf (†) S. 203 noch gezeigt werden, wie ein beliebiges Stück einer Röhre in eine gewisse Anzahl n gleicher Raumtheile eingetheilt werden kann. Man macht zu diesem Behufe die Röhre durch entsprechende Vermehrung oder Verminderung ihres Gewichtes [nach S. 208 und 209] zuerst bis an die untere, hierauf bis an die obere Grenze des einzutheilenden Stückes in Wasser einsinken, theilt den Unterschied U der Gewichte, welche die Röhre in beiden Fällen beim Einsinken hatte, in n, d. i. so viele gleiche Theile, als auf dem erwähnten Röhrenstücke Abtheilungen gemacht werden sollen, vermehrt nachher das Gewicht, welches die Röhre beim Eintauchen an die besagte untere Grenze hatte, um $\frac{U}{n}$, $\frac{2U}{n}$, $\frac{3U}{n}$ u. s. f., und markirt in jedem Falle den Einsinkungspunkt der Röhre. Die Punkte, die man so erhält, bilden die Theilpunkte der Volumscale. Denn da der erwähnte Gewichtsunterschied U das Gewicht des von dem einzutheilenden Röhrenstücke verdrängten Wassers, also das Gewicht eines Wasserkörpers von Volum v dieses Röhrenstückes ist, die Röhre also mit einem Gewichte U belastet werden muß, damit sie um das Volum von der Größe v tiefer einsinke, so wird sie unter dem n-ten, 2 n-ten, 3 n-ten u. s. w. Theil des Gewichtes U um ein n-tel, 2 n-tel, 3 n-tel u. s. w. des Volums v einsinken müssen. Wäre z. B. ein Röhrenstück von der Länge ab in 10 gleiche Volumtheile zu theilen, es betrüge das Gewicht der Röhre beim Einsinken bis a 360 Gran, beim Einsinken bis b hingegen 380 Gran, mithin U $380 - 360 = 20$ Gran, so hätte man das Gewicht der Röhre von 360 Gran nach einander um die Gewichte $^{20}/_{10}$, $2\,^{20}/_{10}$, $3\,^{20}/_{10}$ .... $9\,^{20}/_{10}$ Gran, d. i. um 2, 4, 6, und endlich 18 Gran zu vermehren.

3. Bestimmung der Dichte tropfbarer Körper mittelst der Gewichts-Aräometer. Auf S. 191 unter (82) wurde der Satz bewiesen, daß ein Körper, um in zwei verschiedenen Flüssigkeiten gleich tief (um einen gleich großen Theil seines Volums) einzusinken, ungleiche Gewichte haben muß, und daß sich diese Gewichte direkt wie die spezifischen Gewichte der Flüssigkeiten verhalten müssen, in welche die Einsenkung stattfinden soll. Macht man daher einen passenden Körper vom Gewichte **P** zuerst in reinem Wasser von 3⁰ **R.** und hierauf in einer andern Flüssigkeit (die Kürze halber mit **A** bezeichnet werden mag) dadurch bis zu einer und derselben an ihm angebrachten Marke einsinken, daß sein ursprüngliches Gewicht **P** im ersteren Falle z. B. um p und im zweiten Falle um p_1 vermehrt wird, so hat man, wenn **S** und $\mathbf{S_1}$ die spezifischen Gewichte des Wassers und der Flüssigkeit **A** bedeuten, dem erwähnten Satze gemäß, $P+p:P+p_1=S:S_1$ und hieraus $\frac{P+p_1}{P+p}=\frac{S_1}{S}$. Da **S** und $\mathbf{S_1}$ die Gewichte der Volumeinheiten, also gleich großer Volume Wassers und der Flüssigkeit **A** bezeichnen, so stellt $\frac{S_1}{S}$ die Dichte **D** der Flüssigkeit **A** vor; es ist somit diese Dichte $D=\frac{P+p_1}{P+p}$, und man bedarf daher, um die Dichte tropfbarer Flüssigkeiten zu bestimmen, nur eines festen Körpers, dessen absolutes Gewicht so beschaffen ist und sich leicht so abändern läßt, daß er immer bis zu einer an ihm verzeichneten Marke in diese Flüssigkeiten und im Wasser einsinken gemacht werden kann. Dividirt man nachher das Gewicht, bei welchem er die besagte Einsenkung in der Flüssigkeit erfährt, deren Dichte zu bestimmen ist, durch das Gewicht, das er beim Einsinken in Wasser (bis zur nämlichen Marke) besitzt, so hat man die gesuchte Dichte. Ein solcher Körper heißt dann, wenn er überdieß eine dem eben angegebenen Zwecke entsprechende Gestalt und sonstige Einrichtung hat, ein Gewichts-Aräometer oder eine Senkwage. — Die gebräuchlichsten Instrumente dieser Art sind das Fahrenheit'sche und das Nicholson'sche Aräometer. Ersteres hat die in Fig. 201 dargestellte Gestalt und besteht am besten aus (der Einwirkung fast aller Flüssigkeiten widerstehendem) Glas. Das untere kugel- oder birnförmige Ende enthält aus dem nämlichen Grunde, wie bei den Scalen-Aräometern, Quecksilber oder Bleischrote, und der dünne cylindrische Hals hat eine fixe Marke m und trägt am obern Ende eine Schale a zur Aufnahme der Gewichte, welche erforderlich sind, um das Instrument immer bis m einsinken zu machen. Das Instrument hat ein solches Gewicht, daß es in Alkohol (oder in Terpentinöl) bis zur Marke m einsinkt; bei einer dichteren Flüssigkeit müssen natürlich noch Gewichte auf die Schale a aufgelegt werden, damit die Einsenkung bis m erfolge. Gesetzt, das Gewicht des Instrumentes betrage 400 Gran, und man müßte, um es in einer dichteren Flüssigkeit **B** bis m einsinken zu machen, auf die Schale a 30 Gran auflegen, so würden nach Satz (82 auf S. 191 die spez. Gewichte und mithin auch die Dichten der Flüssigkeit **B** und des Alkohols (oder des Terpentinöls, falls die Marke m statt dem Alkohol, dem Terpentinöl entspricht) sich wie 430 : 400 verhalten. Hätte das Instrument ein solches Gewicht **A**, daß es sich selbst in der leichtesten der tropfbaren Flüssigkeiten nicht über die Marke m und in reinem Wasser nur etwa bis zur Hälfte des Halses z. B. bis 0 eintaucht, so wäre es zur Bestimmung der Dichte leichterer und schwererer Flüssigkeiten als das Wasser geeignet. Man hätte nämlich immer nur zum Gewichte **A** das Gewicht p zu addiren, welches auf die Schale a gelegt werden muß, damit die Einsenkung in reinem Wasser von 3⁰ **R.** bis m stattfindet, und durch die Summe $A+p$ das Gewicht $A+q$

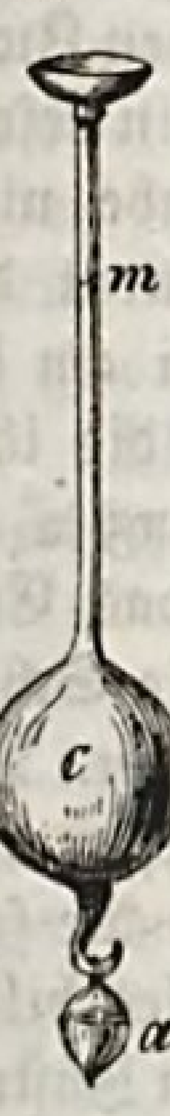
Fig. 201.



zu dividiren, welches man erhält, indem man zu dem Gewichte **A** des Instrumentes das Gewicht q addirt, welches auf die Schale a aufzulegen ist, damit das Aräometer in der Flüssigkeit, um deren Dichte (in Bezug auf das Wasser) es sich handelt, bis zur Marke m einsinkt.

Schmidt hat das Fahrenheit'sche Instrument für leichtere und schwerere Flüssigkeiten anwendbar gemacht, indem er es so einrichtete, daß sich unten, wie Fig. 202 zeigt, zwei mit Quecksilber gefüllte Gefäße a einzeln anhängen lassen, welche aber ungleiche Gewichte haben. Wird das leichtere Gefäß angehängt, so sinkt das Instrument im Wasser nur wenig über die Erweiterung c ein und dient dann für leichtere Flüssigkeiten, in denen es sich tiefer als im Wasser, nie aber über die Marke m einsenkt. Hängt man hingegen das schwerere Gefäß an, so erfolgt die Einsenkung in Wasser bis m oder nahe daran, und das Aräometer eignet sich dann für schwerere Flüssigkeiten als Wasser, in welchen es natürlich weniger tief eintaucht.

Fig. 202.



Nicholson's Gewichts-Aräometer hat gewöhnlich die in Fig. 203 abgebildete Gestalt, wird in der Regel aus Metallblech (am besten aus solchem, welches von den wenigsten Flüssigkeiten angegriffen wird) verfertiget und unterscheidet sich von dem Fahrenheit'schen Instrumente vorzüglich dadurch, daß es sich zur Bestimmung der Dichten sowohl tropfbarer als fester Körper eignet. Der Hals besteht aus dünnem Drahte, und der massive oder durch in seinem Innern vorhandene Schrote belastete Metallkegel a, der dem Instrumente Stabilität gibt, hat bei c eine schalenartige Vertiefung. Uebrigens ist das Instrument so eingerichtet, daß es, wenn auf die Schale n, die am obern Ende des besagten Drahtes aufgesteckt ist, 1000 Gran aufgelegt werden, im Wasser von 3° **R.** bis zur Marke m einsinkt. Bei einer schwerern Flüssigkeit hat man eine noch größere und bei einer leichteren Flüssigkeit als Wasser eine kleinere Zahl Grane auf die Schale aufzulegen, damit die Einsenkung zur Marke m erfolge, übrigens zum Behufe der Dichtebestimmung wie bei dem Fahrenheit'schen Aräometer zu verfahren.

Fig. 203.



Um die Dichte eines festen Körpers **M** zu bestimmen, bringe man das Instrument in Wasser von 3° **R.**, lege den Körper **M** (dessen absolutes Gewicht aber jedenfalls nicht größer sein darf, als das zur Einsenkung des Instrumentes bis m erforderliche Auflegegewicht von 1000 Gran) auf die obere Schale n und noch so viele Gewichte dazu, daß die Marke m gerade in der Wasseroberfläche einspielt. Hat man z. B. 360 Gran hinzugeben müssen, so ist das absolute Gewicht des Körpers **M** $1000-360=640$ Gran. Nun nehme man den Körper **M** von der Schale n weg und lege ihn in die untere Schale c. Da er im Wasser von seinem Gewichte verliert, so spielt nun die Marke m nicht mehr ein und man muß, um dieses Einspielen wieder herbeizuführen, auf die Schale n so viele Grane auflegen, als der Körper **M** im Wasser am Gewichte verloren hat. Gesetzt, das erforderliche Zulegegewicht betrüge 400 Gran, so stellen diese den erlittenen Gewichtsverlust des Körpers **A** im Wasser mithin (nach Satz (77), auf S. 187) das absolute Gewicht eines mit **A** gleichgroßen Wasserkörpers vor, und es ist daher $^{640}/_{400} = 1{\cdot}6$ (nämlich das Gewicht des Körpers **A** dividirt durch das Gewicht eines gleich großen Wasserkörpers von 3° **R.**) die gesuchte Dichte von **A**.

Das Nicholson'sche Aräometer, gut ausgeführt, gewährt allerdings einen großen Grad von Genauigkeit und ist wegen der Dünnheit seines Halses für sehr geringe Dichtigkeitsunterschiede empfindlich. (Jeder Dichtigkeitsunterschied tropfbarer und fester Körper spricht sich nämlich bei ihrer Untersuchung mittelst irgend eines

Scalen- oder Gewichts-Aräometers dadurch aus, daß dieses Instrument um einen bestimmten Volumtheil seines Halses mehr oder weniger tief einsinkt und dieser Volumtheil muß offenbar, da der Hals die Gestalt eines Cylinders oder Prisma's hat, in jedem einzelnen Falle desto länger und somit bemerkbarer sein, je dünner der Hals ist. Es wurde deswegen in früherer Zeit häufig zur Bestimmung der Dichten der Mineralien angewendet. Jetzt findet es auch diese Anwendung nur äußerst selten mehr, da man mittelst einer guten Wage, die jeder Mineralog und Chemiker ohnehin zur Hand haben muß, und mit Hilfe der vorn S. 198 und 200 beschriebenen und durch die Fig. 189 und 190 dargestellten Hilfsvorrichtungen den nämlichen Zweck eben so schnell und doch noch mit weit größerer Genauigkeit erreicht. Nur in besonderen Fällen, z. B. auf Reisen, wo eine schnelle Dichtebestimmung und dabei nicht die größte Schärfe verlangt wird, verdient das Nicholson'sche Instrument den Vorzug. Für Mineralien und feste Körper überhaupt wendet man es dann am besten in der durch Fig. 204 anschaulich gemachten abgeänderten Gestalt an, die ihm Mohs gegeben. Die Anbringung der schalenartigen Vertiefung a am obern anstatt am untern Ende des Aräometerkörpers gestattet das Einlegen des von der Schale n herabgenommenen Minerals in die Schale a, ohne daß man das Instrument aus dem Wasser zu heben braucht. Der dünne, die Marke m tragende Hals besteht aus Stahldraht, dessen Untertheil (etwa $^2/_3$ der ganzen Länge) blau angelaufen ist, und die sehr leicht wahrnehmbare Grenze des angelaufenen und blanken Theiles bildet für sich allein die besagte Marke. Die nöthige Stabilität ist dem Instrumente durch im untern Ende des aus Messing- oder anderm passenden Blech bestehenden Körpers c eingeschmolzenes Blei gegeben.

Fig. 204.



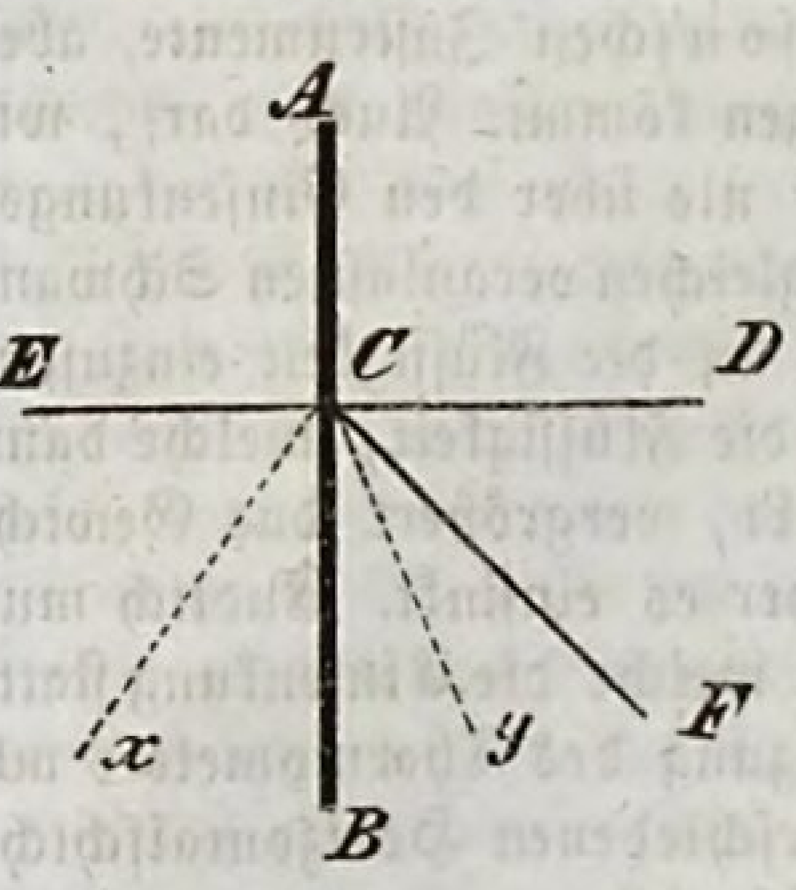
Vorsichtsregeln beim Gebrauche der Aräometer. Zum Schluß der Aräometrie noch einige Vorsichtsregeln, die beim Gebrauche der Aräometer beobachtet werden müssen, widrigen Falls man mit denselben keine richtigen Resultate erhält. Das Aräometer muß, wie schon früher einmal bemerkt worden, vor dem Einsenken in die betreffende Flüssigkeit immer wohl gereinigt werden; es soll vertikal in der Flüssigkeit schweben, frei von anhängenden Luftblasen sein und sich nicht an die Wände des die Flüssigkeit enthaltenden Gefäßes anlehnen. Bei Spindel-Aräometern (d. i. aus bloßen Röhren ohne irgend einer Erweiterung bestehenden) ist das Gefäß gewöhnlich nur aus einer weitern Röhre verfertigt, und es ist fast unmöglich, das Instrument in einer solchen engen Hülse ganz freischwebend und von den Wänden entfernt zu halten. Ein solches Aräometer soll immer nur in der Hülse gebraucht werden, welche bei Bestimmung seiner Scale angewendet wurde, und eine bedeutendere Weite haben muß; wenn man genöthigt ist, sich einer andern Hülse zu bedienen, so soll man immer eine der eben besagten möglichst gleiche wählen. Uebrigens muß das Gefäß für die Flüssigkeit aus hellem Glase bestehen und beim Ablesen des Einsenkungspunktes an der Scale muß immer die Stelle derselben genommen werden, die in's Niveau der Flüssigkeitsoberfläche im Gefäße fällt. Zur Vermeidung jedes aus einer unrichtigen Stellung des Auges entspringenden Ablesungsfehlers muß man das Auge zuerst tiefer halten und nachher so weit erheben, bis die untere Spiegelung der Flüssigkeitsoberfläche gerade verschwindet. Ferner muß das ganze Instrument und insbesondere dessen Hals bis zum Einsenkungspunkt benetzt sein, d. h. die Flüssigkeit, worin es schwimmt, muß sich rund um den Hals gleich weit hinaufziehen, weil sonst die Einsenkung nicht tief genug erfolgt. Der Hals ist daher immer rein zu erhalten und darf deswegen, besonders unmittelbar vor und während der Anwendung des Instrumentes, nicht mit den immer etwas fetten Fingern angefaßt werden. Eben so ist durch gehöriges Abwischen dafür Sorge zu tragen, daß auch an der übrigen Oberfläche des Aräometers keine mit Fett überzogenen Stellen vorhanden sind, was vorzüglich bei dem mit einer

großen Oberfläche versehenen, meistens aus Metall, das durch Berührung mit der bloßen Hand so leicht fett wird, verfertigten Nicholson'schen Instrumente, aber auch bei allen andern Aräometern wohl zu berücksichtigen kömmt. Auch darf, wie ebenfalls schon früher erwähnt worden, das Aräometer nie über den Einsenkungspunkt hinaus naß werden, was bei durch Stöße oder dergleichen veranlaßten Schwankungen, oder wenn man dasselbe, anstatt es vorsichtig in die Flüssigkeit einzusenken, rasch hineinfallen läßt, so leicht geschieht: denn die Flüssigkeit, welche dann oberhalb des Einsenkungspunktes am Halse hängen bleibt, vergrößert das Gewicht des Instrumentes und folglich auch die Tiefe, zu welcher es einsinkt. Endlich muß man bei Bestimmung der Temperatur der Flüssigkeit, in welche die Einsenkung stattfinden soll, die Vorsicht gebrauchen, diese vor Einbringung des Thermometers mit einem Glasstabe gut umzurühren, damit die in den verschiedenen Horizontalschichten gewöhnlich vorhandene Temperatur-Ungleichheit verschwindet.

119. Wirkungen der zwischen den verschiedenen Körpern thätigen Molekularkräfte. Es wurde in **99** auf die Nothwendigkeit hingewiesen, die Wirkungen, welche durch die zwischen den Molekeln eines und desselben tropfbaren Körpers thätigen Kräfte bedingt sind, von jenen abzusondern, die aus der gegenseitigen Aktion der Molekel einer tropfbaren Flüssigkeit und eines anderen Körpers hervorgehen. Da wir im Vorhergehenden die ersteren Wirkungen bereits kennen gelernt haben, erübrigt jetzt noch, auch die letzteren Wirkungen zum Gegenstande einer näheren Betrachtung zu machen. Wir hätten demnach hier von der Aktion, welche die Molekel: 1. verschiedener tropfbarer Flüssigkeiten, 2. tropfbarer Flüssigkeiten und fester Körper und endlich 3. tropfbarer und ausdehnsamer Flüssigkeiten auf einander üben, zu handeln. Es ist jedoch nothwendig, die Besprechung des 3. Punktes so lange zu verschieben, bis wir uns in der Lehre von den ausdehnsamen Körpern über diese Körper die nöthigen Kenntnisse erworben haben werden, und von den in das Bereich der Punkte 1. und 2. gehörigen Erscheinungen können wir alle jene übergehen, die schon in **21** und **22** als Wirkungen der Adhäsion besprochen wurden.

120. Aktion zwischen den Molekeln einer tropfbaren Flüssigkeit und der Wände des dieselbe enthaltenden Gefäßes. Was wir früher (in **105**) über die Gestalt der freien Oberfläche einer in einem Gefäße in Ruhe befindlichen Flüssigkeit dargethan haben, gilt, wie schon dort bemerkt worden, nur unter der Voraussetzung, daß die Flüssigkeit und das Materiale des Gefäßes in keiner Art auf einander einwirken. Nun findet aber zwischen beiden immer mehr oder weniger Adhäsion statt, und diese muß die Wirkung der übrigen, die Gestaltung der Flüssigkeitsoberfläche bedingenden Kräfte (Molekularkräfte und Schwere) modifiziren; kann daher nicht ohne Einfluß auf die Gestalt dieser Oberfläche bleiben. Es hängt, wie wir gleich nachher einsehen werden, das Resultat dieses Einflusses von dem Verhältnisse der Anziehungskraft der Gefäßwand gegen die Flüssigkeitstheilchen zur Aktion dieser Theilchen auf einander ab, und besteht je nach diesem Verhältnisse entweder darin, daß die Flüssigkeit in der Nähe der Gefäßwände emporgezogen wird und da eine concave Fläche bildet, die in einiger Entfernung von den Wänden allmälig in eine horizontale Ebene übergeht, oder daß ihre Oberfläche überall eben bleibt, oder endlich, daß sie an den Gefäßwänden sich nach abwärts krümmt und daselbst eine convexe Fläche bildet. Die Erfahrung zeigt uns jeden dieser Fälle und lehrt überdies, daß der erste nur dann eintritt, wenn die Gefäßwände von der Flüssigkeit benetzt werden, jeder der beiden andern Fälle aber nur unter Umständen, wo keine Benetzung stattfindet. Die nähere Bedingung eines jeden dieser Fälle erhellt aus folgender Betrachtung. Es sei **AB** (Fig. 205) eine vertikale ebene Wand und **CD** die freie Oberfläche eines mit ihr in Berührung stehenden tropfbaren Körpers, von welcher für einen Augenblick vorausgesetzt wird,

Fig. 205.



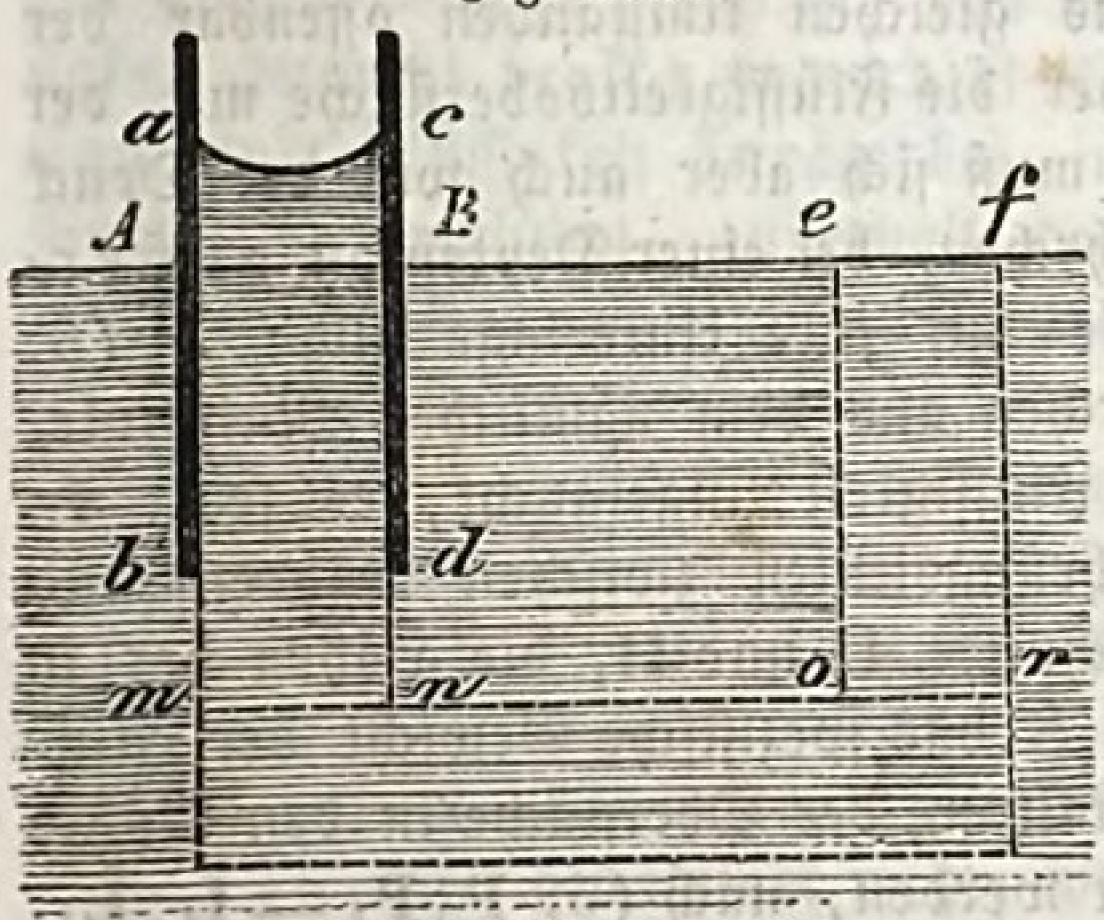
daß sie eine horizontale sei. Offenbar hat die aus der Anziehung der Wand gegen die Flüssigkeit entspringende Kraft **P** bei **C** die auf die Wand **AB** senkrechte Richtung **CE**, so daß das Flüssigkeitstheilchen **C** durch diese Kraft nach **E** hingezogen wird; denn je zwei auf entgegengesetzten Seiten der Linie **ED** symmetrisch gelegene Wandmoleküle wirken nothwendig gleich anziehend auf **C**; die Resultirende jeden Paares dieser gleichen Anziehungskräfte muß nach (1 S. 71 den Winkel, unter welchem ihre Richtungen in **C** zusammentreffen, halbiren, mithin, den Lehren der Geometrie zu Folge, auf der Verbindungslinie der zwei um **ED** symmetrisch gelagerten Wandmoleküle, also auch auf der Wand **AB** selbst senkrecht stehen. Aus ähnlichem Grunde muß die Resultirende **Q** der Kräfte, womit die Molekel der Flüssigkeitsmasse **BCD** (**101**) auf das Flüssigkeitstheilchen **C** einwirken, die Richtung der den Winkel **BCD** halbirende Linie **CF** haben (weil nämlich um diese Linie die Flüssigkeitsmolekel symmetrisch herumliegen), so daß also das Flüssigkeitstheilchen **C** unter der gleichzeitigen Einwirkung der von **C** nach **E** und von **C** nach **F** gerichteten Kräfte **P** und **Q** steht. Es hängt nun offenbar die Richtung der Resultirenden **R** der Kräfte **P** und **Q** nur von dem Größenverhältnisse dieser letzteren ab. Bei einem bestimmten solchen Verhältnisse wird die Resultirende **R** mit **CB** zusammenfallen . . . 1); ist **P** gegen **Q** größer, als es dieses Verhältniß fordert, so hat **R** eine in den Winkel **ECB** hineinfallende Richtung, z. B. **Cx**, die desto näher an **CE** fällt, je größer **P** ist . . . 2); ist endlich **P** gegen **Q** kleiner als im Falle 1), so muß die Resultirende **R** immer, wie **Cy**, innerhalb des Winkel **BCD** und zwar desto näher an **CD** fallen, je kleiner **P** ist...3). In jedem dieser drei möglichen Fälle muß aber die Oberfläche der Flüssigkeit, soll in dieser Ruhe (Gleichgewicht) herrschen, bei **C** eine solche Gestalt annehmen, daß die Richtung der Resultirenden **R** darauf normal ist*), mithin im Falle 1) eben und horizontal bleiben, im Falle 2) hingegen eine concave und im Falle 3) endlich eine convexe Gestalt erhalten . . . (†). Was hier von der Einwirkung der vertikalen ebenen Wand **AB** auf die angrenzende Flüssigkeit gezeigt wurde, gilt auch, wenn die Wand zwar vertikal, aber nicht eben, sondern gekrümmt, z. B. cylindrisch ist: denn man kann sich dann die Wand in lauter unendlich schmale Vertikalstreifen zerlegt denken, deren jeder für sich als eben betrachtet werden kann und also wie die Wand **AB** wirken muß. Die nämlichen Schlüsse lassen sich unter gehörigen Modifikationen auch auf nicht vertikale oder wie immer gekrümmte Gefäßwände ausdehnen; wir können uns jedoch hier auf diese Ausdehnung nicht einlassen. Bei engern Röhren oder Gefäßen erstreckt sich die von den Wänden ausgehende Krümmung der Oberfläche bis in die Mitte der letzteren, so daß die ganze Flüssigkeitsoberfläche concav oder convex erscheint. Es läßt sich nun leicht einsehen, daß dann sowohl die Convexität als die Concavität desto größer (die Oberfläche desto mehr gekrümmt) sein müsse, je enger die Röhre oder das Gefäß ist. Für die Concavität folgt dies nothwendig aus dem Umstande, daß, da mit abnehmender Weite des Gefäßes das Verhältniß der zwischen Wand und Flüssigkeitsoberfläche stattfindenden Berührungspunkte zur Ausdehnung der Oberfläche wächst, die von den Wandtheilchen ausge-

*) Denn wäre diese Richtung schief, so ließe sich dieselbe, so wie dies in **105** von der Schwerkraft gezeigt wurde, immer in zwei Componenten zerlegen, wovon die eine zur Flüssigkeitsoberfläche normal ist und durch den Widerstand der Theilchen im Innern der Flüssigkeit aufgehoben würde, die andere hingegen zur Oberfläche tangential wirkte und eine Bewegung des Theilchens C längs der Oberfläche hervorbringen müßte.

hende, die Concavität bestimmende Anziehungskraft sich auf weniger Flüssigkeitstheilchen concentrirt, diese also um so mehr aus ihrer durch die andern Kräfte (Molekularkräfte und Schwere) bedingten Gleichgewichtslage herausbringt. Im zweiten Falle hingegen, wo nämlich die Oberfläche convex ist und die von der Wand ausgehende nur äußerst geringe Anziehungskraft die Gestaltung der Oberfläche in Folge der bloßen Wirkung der Molekularkräfte nicht zu hindern vermag, wird die Flüssigkeitsoberfläche dem Streben zur Tropfenbildung desto mehr folgen, sich somit desto convexer (tropfenähnlicher) gestalten können, je geringer ihre Ausdehnung ist... 90).

121. Haarröhrchen-Erscheinungen. Aus den eben vorgetragenen Sätzen ergibt sich nun die Erklärung von Erscheinungen, welche Communicationsgefäße darbieten, woran ein Arm sehr eng ist. In solchen Gefäßen steht nämlich nicht, wie es die hydrostatischen Gesetze verlangen (**106**), die Flüssigkeit in allen Armen gleich hoch, sondern in dem besagten engen Arm unter gewissen Umständen höher, unter andern niedriger als in den andern Armen. Man kann sich ein solches Communicationsgefäß am leichtesten durch Eintauchen einer Röhre mit sehr enger Höhlung in eine Flüssigkeit verschaffen. Da derlei Röhren, wenn gleich ihr innerer Durchmesser noch weit größer ist als jener eines Haares, Haarröhrchen genannt werden, so bezeichnet man die an ihnen sich darbietenden, auf den Stand der Flüssigkeit darin sich beziehenden Erscheinungen gewöhnlich mit dem Namen Haarröhrchen- oder Capillaritäts-Erscheinungen. Die wichtigsten derselben sind folgende. Wird die innere Wand eines Haarröhrchens von der Flüssigkeit, in die man es eintaucht, benetzt, ist also die Flüssigkeitsoberfläche im Röhrchen concav, wie z. B. bei einer in Wasser getauchten reinen Glasröhre, so erhebt sich die Flüssigkeit im Haarröhrchen über ihren äußeren Stand, während sie, wenn keine Benetzung stattfindet und ihre Oberfläche im Röhrchen convex ist, wie bei Glas und Quecksilber, im Innern dieses Röhrchens niedriger steht als außer demselben. Die Erklärung hievon ergibt sich auf nachstehende Weise. Es sei abcd (Fig. 206) der Durchschnitt eines im Wasser vertikal stehenden cylindrischen oder prismatischen Haarröhrchens, AB die Oberfläche des äußeren Wassers und ac die als concav vorausgesetzte Oberfläche der Wassersäule im Röhrchen. Denkt man sich diese Säule von der untern Mündung bd des Haarröhrchens aus zuerst vertikal abwärts, dann in horizontaler Richtung und endlich wieder vertikal aufwärts bis ef mit immer gleichem Querschnitte fortgesetzt, so ist die Flüssigkeitssäule im Haarröhrchen sammt der an sie sich anschließenden punktirt angedeuteten Fortsetzung derselben bis ef als in einer Communicationsröhre acef enthalten zu betrachten, deren Wände theils von dem Haarröhrchen und theils von der die besagte Fortsetzung umgebenden Flüssigkeit gebildet werden. Soll in dieser Communicationsröhre Gleichgewicht herrschen, so muß (den früher vorgetragenen hydrostatischen Sätzen und insbesondere dem Inhalte von **107** zu Folge) der Druck P, den die über der Fläche mn stehende, in das Haarröhrchen hineinreichende Flüssigkeitssäule auf diese Fläche ausübt, dem Drucke P_1 gleich sein, womit die Säule efor auf die mit mn in der nämlichen Horizontalebene liegende Fläche or wirkt, so daß $P = P_1$ ist ... (1. Nun drückt aber die zuerst genannte Säule, die wir der Kürze wegen mit W bezeichnen wollen, auf die Basis mn mit einer Kraft $P = mn . s . x + p$... (2, wenn s das spezifische Gewicht der Flüssigkeit, x die noch als unbekannt angesehene Höhe der Säule W und p die Kraft bedeutet, welche aus der Molekularaktion dieser Säule auf ihre freie Oberfläche hervorgeht (**101**) und, da sie eine einwärtszie-

Fig. 206.



hende ist, einem auf die Flüssigkeitsoberfläche von außen nach innen ausgeübten Druck gleichgeachtet werden kann. Ebenso gilt für den Druck P_1, den die über or stehende Säule (sie heiße w) auf die Fläche or ausübt, die Gleichung $P_1 = or.s.h + p_1$ ...(3, wo s, h und p_1 ganz die nämliche Bedeutung für die Säule w haben, wie s, x und p für die Säule W. Es muß daher gemäß (1, (2 und (3 für den Gleichgewichtszustand in der vorbesagten Communicationsröhre $mn.s.x + p = or.s.h + p_1$, oder da die Flächen mn und or nach der Voraussetzung gleich sind, $(x - h)\, mn.s = p_1 - p$... (4 sein. Da aber nach (V) S. 158 die vorerwähnte einwärtsziehende Kraft bei einer concaven Oberfläche kleiner als bei einer ebenen, mithin $p < p_1$ ist, so folgt, daß $p_1 - p$ und daher auch $x - h$ einen positiven Werth habe, also $x > h$ sein, d. h. die Flüssigkeit im Haarröhrchen abcd höher stehen müsse, als außerhalb desselben. Ganz die nämlichen Schlüsse sind auch auf den Fall anwendbar, wo die Oberfläche der Flüssigkeit im Haarröhrchen convex ist; nur hat das Glied $p_1 - p$ der Gleichung (4 einen negativen Werth, weil nach (IV) S. 158 die einwärtsziehende Kraft p bei einer converen Oberfläche größer ist als bei einer ebenen. Es muß daher $x - h$ negativ, mithin $x < h$ sein, d. h. die Flüssigkeit im Innern des Haarröhrchens muß niedriger stehen als außerhalb. Ueberdies beträgt, wie die Erfahrung lehrt, das eben erwiesene Höherstehen (die Elevation) der Flüssigkeit im ersteren und das Niedrigerstehen (die Depression) im letzteren Falle desto mehr, je enger das Haarröhrchen ist, so daß für cylindrische Haarröhrchen die Elevation und die Depression im verkehrten Verhältnisse mit dem Durchmesser des Röhrchens stehen. Die theoretische Begründung dieses letzteren Satzes ist folgende. Dem Vorhergehenden zu Folge ist sowohl die besagte Elevation als Depression durch die Gestalt der Flüssigkeitsoberfläche im Haarröhrchen bedingt und nach S. 222 ist diese Gestalt das Resultat des Kampfes zwischen den Kräften, womit einerseits die Röhrenwand auf die angrenzenden Flüssigkeitstheilchen und andererseits die Flüssigkeit selbst auf diese Theilchen wirkt. Da die Kraft, welche die Gestalt der Oberfläche bestimmt, sich nur auf eine unmeßbare Entfernung von der Röhrenwand erstreckt, so ist sie unter übrigens gleichen Umständen offenbar der Länge der Linie proportional zu setzen, in welcher die Flüssigkeitsoberfläche mit der Röhrenwand in Berührung steht . . . (5. Sie muß sich aber auch wie der Druck verhalten, den (bei einer Elevation im Haarröhrchen, bei einer Depression außerhalb desselben) die gehobene Flüssigkeitssäule auf ihre Unterlage übt . . . (6. Denkt man sich nun zwei cylindrische Haarröhrchen aus dem nämlichen Materiale, aber von verschiedenen Durchmessern in dieselbe Flüssigkeit eingetaucht, es seien L, L_1 die Längen der unter (5 bezeichneten Berührungslinien zwischen Röhrenwand und Flüssigkeitsoberfläche, Q und Q_1 die Querschnitte, H und H_1 die Höhen der in beiden Fällen gehobenen Flüssigkeitssäulen und S das spezifische Gewicht der Flüssigkeit; so hat man, wenn endlich die, die Gestaltung der Oberfläche in den Röhrchen bewirkenden Kräfte mit P und P_1 bezeichnet werden, nach (5, $P : P_1 = L : L_1$, ferner nach (6, $P : P_1 = Q.H.S : Q_1.H_1.S$, woraus $L : L_1 = QH : Q_1 H_1$ und $H : H_1 = \frac{L}{Q} : \frac{L_1}{Q_1}$ . . . (7 folgt. Bezeichnet man die Durchmesser der zwei gedachten cylindrischen Haarröhrchen mit D und D_1, so hat man, da L, L_1 die innern Umkreise (Peripherien) und Q, Q_1 die Querschnittsflächen dieser Röhrchen vorstellen, $L = \pi D$, $L_1 = \pi D_1$, $Q = \frac{1}{4}\pi D^2$ und $Q_1 = \frac{1}{4}\pi D_1{}^2$ und man erhält durch Substituirung dieser Werthe in die Proportion (7, $H : H_1 = \frac{1}{D} : \frac{1}{D_1}$ oder $H : H_1 = D_1 : D$ . . . (8, was zu beweisen war.

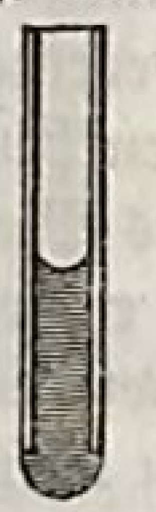
Die folgende Tabelle (nach Frankenheim) gibt die Höhe in Millimetern, zu welcher verschiedene Flüssigkeiten bei 0° in einer Glasröhre von 1 Millimeter Durchmesser elevirt werden.

Man kann nach ihr und nach dem eben erwiesenen Satz (8 leicht die Elevationshöhe dieser Flüssigkeiten in engeren Glasröhrchen berechnen.

Flüssigkeit	Dichte.	Elevation.	Flüssigkeit	Dichte.	Elevation.	Flüssigkeit	Dichte.	Elevation.
Wasser . . .	1.	30·73	Kalilösung .	1·274	15·40	Alkohol . .	0·821	12·10
Ameisensäure	1·105	20·40	Steinöl . .	0·847	13·90	" . .	0·927	12·82
Zinkchlorür .	1·364	20·12	Citronöl .	0·838	14·46	" . .	0·967	14·54
Essigsäure . .	1·290	17·02	Terpentinöl	0·890	13·52	Aether . .	0·737	10·80
Schwefelsäure	1·840	16·80	Essigäther .	0·905	12·20	Schwefelalkohol	1·290	10·20

Wenn man das in die Flüssigkeit getauchte Röhrchen in vertikaler Richtung vorsichtig herausheht, so bleibt, falls eine Elevation Statt gefunden, im Innern des Röhrchens immer noch eine Flüssigkeitssäule hängen, deren Länge stets viel größer als vorher die Elevation, und von dem Tropfen abhängig ist, der (Fig. 207) am untern Röhrenende sich zeigt und einen mehr oder weniger converen Meniskus bildet. Hat das Röhrchen sehr dünne Wände, wo dann dieser Meniskus dem concaven am obern Ende der Flüssigkeitssäule nahe gleich ist; so wird diese fast doppelt so lang sein, als die ursprüngliche Elevation (die obere Hälfte der Flüssigkeitssäule wird von der besagten obern Concavität emporgezogen und die untere Hälfte vom untern Meniskus getragen.)

Fig. 207.

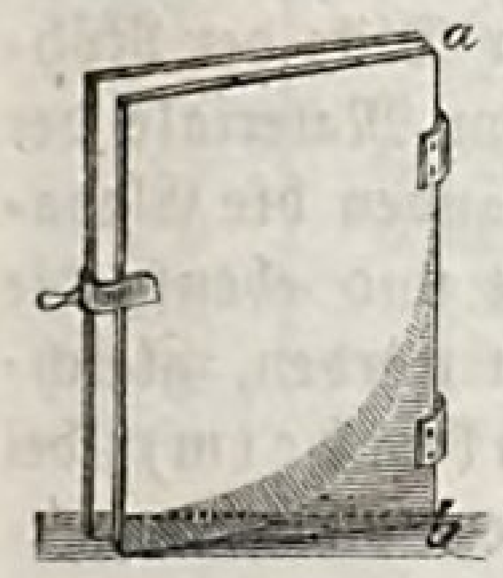


Denkt man sich anstatt des einen Haarröhrchens vom Durchmesser D_1 in die Flüssigkeit zwei gleich große Platten des nämlichen Materials so eingetaucht, daß sie einander parallel stehen und ihr gegenseitiger Abstand D_1 ist, so stellt dann L_1 die Länge der zwei Linien vor, in welchen die besagten Platten von der Flüssigkeitsoberfläche berührt werden, und Q_1 wird eine rechteckige Fläche von der Länge $\frac{1}{2}L_1$ und von der Breite D_1, so daß $Q_1 = \frac{1}{2}L_1\ D_1$ ist. Setzt man diese so wie die obigen Werthe für L und Q in die Proportion (7, so erhält man

$$H : H_1 = \frac{\pi D}{\frac{1}{4}\pi D^2} : \frac{L_1}{\frac{1}{2} L_1 D_1} = \frac{4}{D} : \frac{2}{D_1} = 4\ D_1 : 2\ D,$$ und wenn $D_1 = D$,

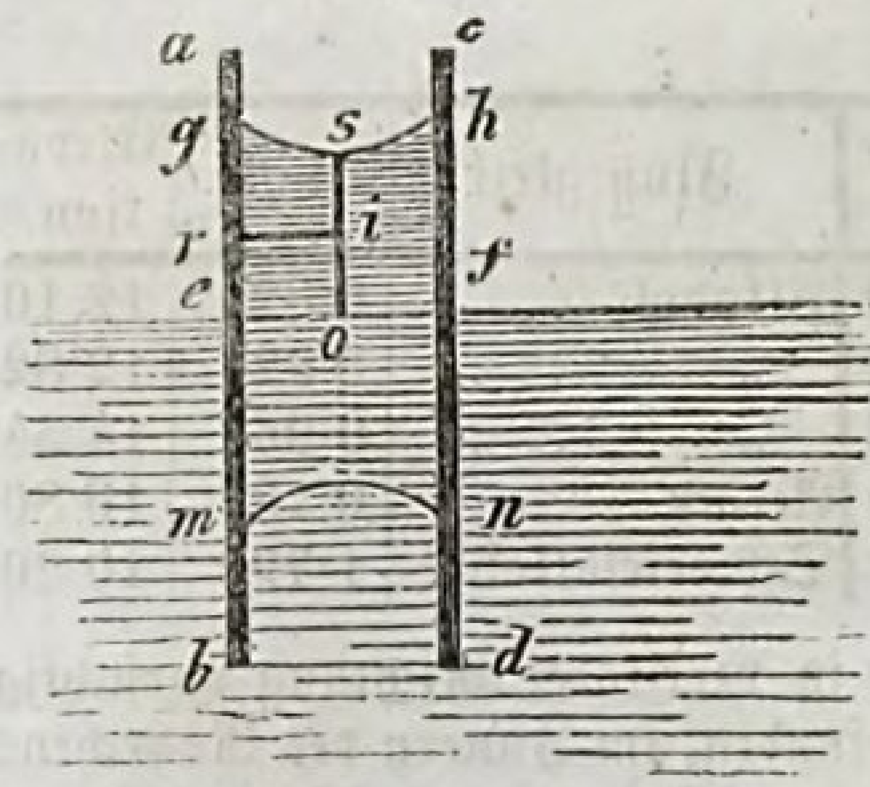
d. h. der gegenseitige Abstand der zwei parallelen Platten dem Durchmesser desjenigen Haarröhrchens gleich ist, das man sich mit diesen Platten in die nämliche Flüssigkeit getaucht denkt, so wird $H : H_1 = 2 : 1$, mithin $H = 2 H_1$, d. h. die Elevation einer Flüssigkeit beträgt bei einem Haarröhrchen (innerhalb, oder falls keine Benetzung stattfindet, außerhalb des Röhrchens) gerade doppelt so viel, als unter übrigens gleichen Umständen bei parallelen Platten, die unter einem, dem Durchmesser des Röhrchens gleichen Abstande in die Flüssigkeit gestellt werden. Einander sehr nahe und parallel in einer Flüssigkeit stehende feste Wände zeigen daher ebenfalls, nur in geringerem Grade, die Capillaritätserscheinungen, wie sehr enge Röhrchen. Zwischen zwei gegeneinander geneigten und in einer vertikalen Linie ab zusammentreffenden Glastafeln (Fig. 208), die in Wasser tauchen, erhebt sich dieses gegen die Linie ab hin immer mehr, weil auch der gegenseitige Abstand der Tafeln gegen diese Linie hin immer abnimmt und die Elevationshöhen zwischen Tafeln den Abständen derselben von einander umgekehrt proportional sind.

Fig. 208.



Es läßt sich zeigen, daß zwei in einer Flüssigkeit einander nahe gegenüberstehende Wände, wenn sie leicht beweglich sind, sich einander nähern müssen, es mag zwischen ihnen eine Elevation oder Depression der Flüssigkeit stattfinden. Denn sind ab und cd (Fig. 209) zwei feste Wände, zwischen welchen Depression stattfindet, die Flüssigkeit also z. B. bei mn steht, während dieselbe außerhalb bis ef reicht, so werden die Stücke mb und nd dieser Wände durch die Flüssigkeit von innen nach außen und von außen nach innen, also nach entgegengesetzten Seiten mit gleichen Kräften, die sich daher das Gleichgewicht halten, gedrückt; die Stücke me und nf hingegen erleiden durch die Flüssigkeit nur einen Druck von außen nach

Fig. 209.

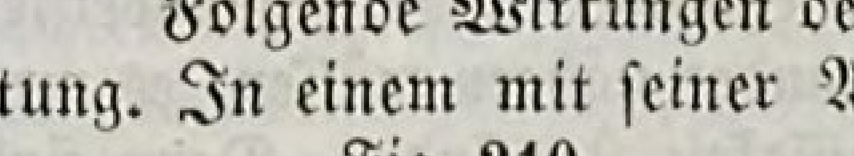


innen, der durch keinen Gegendruck von innen heraus aufgehoben wird, die Wände also gegeneinander treiben muß. Dasselbe muß auch stattfinden, wenn die Flüssigkeit zwischen den Wänden z. B. bis gh elevirt ist, wiewohl man dem Anscheine nach gerade das Gegentheil vermuthen sollte: denn die Wandstücke be und df erleiden zwar nach außen und innen einen gleichen Druck, aber jeder Punkt (z. B. r) der Wandstücke eg und fh wird nach innen gezogen, wie aus Folgendem erhellt. Man denke sich in dem elevirten Flüssigkeitskörper eghf eine unendlich dünne, gleichsam nur aus lauter vertikal übereinander gelagerten Flüssigkeits-Molekeln gebildete Säule so und mit derselben den Punkt r durch eine eben solche horizontale Molekelreihe ri verbunden; so wird das Molekel i offenbar mit einer dem Drucke einer Flüssigkeitssäule von der Länge si entsprechenden Kraft abwärts gedrückt, während die auf dasselbe nach aufwärts wirkende Kraft, welche eine Säule von der Länge so elevirt zu erhalten vermag, dem Drucke dieser Säule entspricht, so daß das Theilchen i durch die der Säule so — si = oi entsprechende Resultirende einen Zug nach aufwärts erfährt. Nun pflanzt sich dieser Zug durch die Säule ir bis zu dem Punkt r fort, der durch Adhäsion mit dieser Säule zusammenhängt, und so wird dieser Punkt nach einwärts gezogen. Da dieses ebenso mit jedem andern Punkt der Wand eg, aber nur mit einer andern Kraftstärke geschehen muß und da für die Wand fh das Nämliche gilt, was eben für eg bewiesen wurde, so müssen beide Wände, wenn sie beweglich genug sind, sich einander nähern...(†). Hieraus erklärt sich, warum gewisse schwimmende und nicht ganz untergetauchte Körper von den Gefäßwänden angezogen werden, wenn sie denselben hinreichend nahe kommen, vorausgesetzt, daß sowohl der schwimmende Körper als die Gefäßwand von der betreffenden Flüssigkeit benetzt oder daß beide nicht benetzt werden. Dies ist insbesondere beim Gebrauche der Aräometer nicht außer Acht zu lassen, weil, wenn diese Instrumente beim Einsenken in Flüssigkeiten so nahe an die Wände der diese letzteren enthaltenden Gefäße kommen, daß sie davon in Folge Capillarwirkung angezogen werden, die Einsenkung nicht bis zu gehöriger, sondern immer zu geringerer Tiefe stattfindet (man vergleiche hiemit S. 220).

Uebrigens lehrt die Erfahrung, daß in vertikalen Röhrchen die Elevation oder Depression nur von dem Röhrchendurchmesser jener Stelle abhänge, wo die Flüssigkeitssäule endigt, daß sie (die Elevation oder Depression) von der Dicke der Röhrenwände ganz und bei einer und derselben Flüssigkeit auch von dem Materiale der Röhre in so fern unabhängig sei, als unter übrigens gleichen Umständen die Elevation für alle Materialien, die von der betreffenden Flüssigkeit benetzt und ebenso die Depression für alle Materialien, die von der Flüssigkeit nicht benetzt werden, gleichviel beträgt. Uebrigens wächst sie (nach Brunner und Frankenheim) bei einer und derselben Flüssigkeit mit der Dichte dieser letzteren in einem etwas rascheren, als im direkten Verhältnisse.

Folgende Wirkungen der Capillarität verdienen noch vorzüglich unsere Beachtung. In einem mit seiner Axe horizontal liegenden Haarröhrchen (Fig. 210) mit

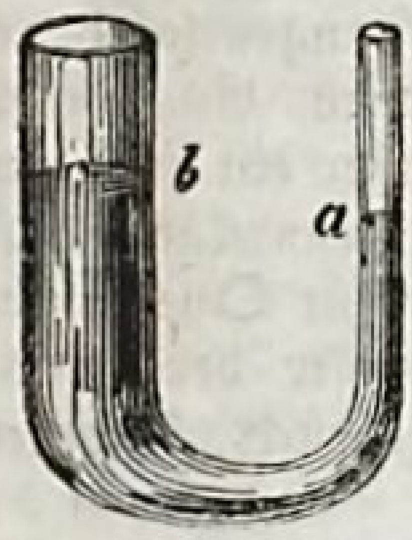
Fig. 210.



konischer Höhlung bewegt sich die Flüssigkeitssäule mn rasch an das engere oder an das weitere Ende hin, je nachdem sie sowohl bei m als bei n von concaven oder von converen Menisken begrenzt ist. Im ersteren Falle ist nämlich am kleineren Meniskus n die elevirende (nach dem Meniskus hinziehende), im letzteren hingegen die deprimirende (vom Meniskus aus einwärts ziehende) Kraft stärker, als am größeren Meniskus m.

In einer communicirenden Röhre mit ungleich weiten Armen steht eine Flüssigkeit, den übrigen hydrostatischen Gesetzen zuwider, ungleich hoch, wenn der eine Arm ein Haarröhrchen ist oder wenn beide Arme Haarröhrchen von ungleicher Weite sind, und zwar steht die Flüssigkeit, wenn sie das Materiale der Röhre benetzt, im engern Arm immer höher, im entgegengesetzten Falle aber immer niedriger als im weitern Arm; es beträgt dieser Unterschied des Flüssigkeitsstandes desto mehr, je geringer der Durchmesser des einen im Verhältnisse zum Durchmesser des andern Armes ist. So steht das Quecksilber im Arme a der Glasröhre ab (Fig. 211) niedriger als im Arme b (offenbar, weil die Oberfläche in a eine stärkere Convexität hat als in b und daher nach (IV) S. 158 die, einem Drucke auf die Oberfläche zu vergleichende Kraft, womit die Flüssigkeitsmolekel nach einwärts gezogen werden, in a größer ist, als in b.

Fig. 211.



Da es, wie die Folge zeigen wird, insbesondere wichtig ist, die Größe der Depression zu kennen, die das Quecksilber in engen Glasröhren erfährt, so folgt hier eine von Bouvard nach La Place's Formel berechnete Tabelle, welche für Glasröhren verschiedenen Durchmessers die Depression des trockenen Quecksilbers angibt, und worin Durchmesser und Depression in Millimetern ausgedrückt sind. Die beistehenden, aus Versuchen von Young und Ivory entsprungenen Zahlen dienen zur Vergleichung.

Durchm. d. Röhre.	Depression nach La Place.	Depression nach Young.	Depression nach Ivory.	Durchm. d. Röhre.	Depression nach La Place.	Depression noch Young.	Depression nach Ivory.
21·0	0·030	0 024	0·024	11·0	0·354	0·311	0·316
20·5	0·034			10.5	0·397		
20·0	0·038	0 031	0·031	10·0	0·445	0·402	0·406
19·5	0·043			9·5	0·500		
19 0	0·049	0·041	0·042	9·0	0 562	0 517	0·521
18·5	0·056			8·5	0·632		
18 0	0·064	0·053	0·054	8·0	0·712	0·669	0·673
17·5	0·073			7·5	0·803		
17·0	0·083	0·068	0·071	7 0	0·909	0·869	0·868
16·5	0·094			6·5	1·030		
16·0	0·107	0 088	0·087	6 0	1·171	1·139	1·134
15·5	0·121			5·5	1·337		
15·0	0·137	0·111	0·118	5·0	1·534	1·510	1·513
14 5	0·156			4·5	1·774		
14·0	0 176	0·144	0·152	4·0	2·068	2·063	2·066
13·5	0·198			3 5	2·442		
13·0	0 223	0 188	0·196	3·0	2·918	2·986	2·988
12·5	0 250			2·5	3·568		
12 0	0·281	0·242	0·253	2·0	4·454	4·887	4·888
11·5	0,315						

Es ist aber dem Zeugnisse der Erfahrung gemäß die Capillar=Depression des Quecksilbers in Glasröhren von gleichem Durchmesser nicht immer gleich groß, weil die Adhäsion zwischen beiden Körpern und folglich auch die, die Größe der Depression bestimmende Convexität der Quecksilberoberfläche, je nach der Glätte und Reinheit des Glases, der Reinheit des Quecksilbers und dem Feuchtigkeitszustande der Luft, eine veränderliche Größe hat. Je mehr das Quecksilber mit durch Erhitzen oder längeres Schütteln an der Luft erzeugtem Quecksilberoxyde verunreinigt ist, oder auch je weniger Luft es enthält, desto stärker wird dessen Adhäsion zum Glase, so daß diese oft die Wirkung der einwärtsziehenden, die Convexität der Oberfläche des Quecksilbers bedingenden Molecularkräfte aufhebt und die Oberfläche des Quecksil=

bers bis an die Röhrenwand völlig eben erscheint, wo dann natürlich keine Depression stattfindet . . . (††).

Die Kenntniß der Capillar-Depression des Quecksilbers in Glasröhren ist vorzüglich nöthig zum Behuf der Correction der Barometerstände, wovon aber erst an einem späteren Orte weiter gehandelt werden kann. Es gestattet die Capillartheorie aber auch eine sehr nützliche Anwendung zur Berichtigung der Volum-Messungen von Gasen, die in graduirten Röhren durch Quecksilber oder Wasser abgesperrt sind, so wie zur Erzielung einer vollkommenen Graduirung der Röhren selbst. Bei den besagten Messungen muß nämlich, je nachdem die Sperrflüssigkeit Quecksilber oder Wasser ist, das Gasvolum, gemessen von der Wölbung der Röhre bis zur Tangentialebene am Scheitel der krummen Oberfläche der Sperrflüssigkeit, um das Volum des Meniskus vermehrt oder vermindert werden, der von dieser Tangentialebene, von der Röhrenwand und von der Oberfläche der Sperrflüssigkeit eingeschlossen wird. Es handelt sich also für die beiden Fälle darum, die Höhe des Cylinders zu erhalten, welcher ein mit dem besagten Meniskus gleiches Volum und eine dem Querschnitt der Röhre gleiche Grundfläche hat. Hiezu dienen die folgenden Tabellen I. und II., wovon erstere von Danger für Quecksilber und die andere von Desains für Wasser berechnet und worin α den Halbmesser der Glasröhre und m die fragliche Höhe des besagten Cylinders, beide in Millimetern ausgedrückt, bedeutet.

Tabelle I.

α	m	α	m	α	m	α	m	α	m	α	m
0·5	0·178	5·5	0·643	10·5	0·469	15·5	0·343	20·5	0·240	25·5	0·184
1·0	0·310	6·0	0·637	11·0	0·455	16·0	0·330	21 0	0·230	26·0	0·180
1·5	0·410	6·5	0·627	11·5	0·450	16·5	0·320	21·5	0·221	26·5	0·180
2·0	0·486	7·0	0·610	12·0	0·436	17·0	0·308	22·0	0·215	27·0	0 180
2·5	0·544	7·5	0·591	12·5	0·421	17·5	0·297	22·5	0·208	27·5	0·180
3·0	0·584	8·0	0·570	13·0	0·480	18·0	0·287	23·0	0·202	28 0	0·180
3·5	0·610	8·5	0·550	13·5	0·394	18·5	0·276	23·5	0·197	28·5	0·179
4·0	0·630	9·0	0·530	14·0	0·380	19·0	0·265	24 0	0·193	29·0	0·179
4·5	0·639	9·5	0·511	14·5	0·366	19·5	0·256	24·5	0·190	29·5	0·179
5·0	0·643	10·0	0·495	15·0	0·355	20·0	0·248	25·0	0·187	30·0	0·178

Tabelle II.

α	m	α	m	α	m	α	m	α	m	α	m
1	0·317	4	0·998	7	1·356	10	1·193	13	1·041	20	0·744
2	0·607	5	1·140	8	1·299	11	1·142	14	0·992	25	0 603
3	0·839	6	1·252	9	1 244	12	1·091	15	0·945	30	0·504

Beim Gebrauche dieser Tabellen drücke man zuerst m in Theilen der Graduirung der Röhre aus, und man braucht dazu nur den Werth von m durch die Länge eines der Röhrengrade zu dividiren; der Quotient ist es, um den man das in den Gradtheilen der Röhre gemessene Gasvolum in oben angegebener Weise zu berichtigen hat. Daß beim Graduiren der Röhren durch successives Eingießen genau gewogener Mengen Quecksilbers (S. 14), um eine richtige Theilung auf der Röhre zu erhalten, der Meniskus an der Quecksilberoberfläche mit Hilfe der Tabelle I. auf einen Cylinder zurückgeführt und dann der Höhe des Meniskus die Höhe dieses Cylinders substituirt werden müsse, ist nun wohl für sich klar.

Aus der Capillarwirkung erklärt sich ferner: 1. Warum Blei von Quecksilber durchdrungen wird; warum bei silberplattirtem Kupfer das Silber verschwindet, wenn man das Ganze bis zum Schmelzen des Silbers erhitzt, aber wieder zum Vorschein kömmt, wenn man nachher das äußere silberfrei erscheinende Kupfer mit salzsaurem Zink wegnimmt; warum Wasser (oder auch eine andere passende Flüssigkeit) in porösen Körpern sich weit über die Stelle hinauf erhebt und verbreitet, bis an welche es mit diesen Körpern in Berührung steht, wie dies der Fall ist: bei nur mit einem kleinen Theil in Wasser tauchenden Badeschwamm, Löschpapier, Tüchern, Stricken, Holz, gebranntem und unglasirtem Thon, trockener Erde, Zucker u. s. w.; bei einem, auf nassem Boden liegenden Sandhaufen oder einer auf nassem Grunde stehenden Mauer, welche weit über den Boden oder Grund, nicht selten bis an den obersten Theil hinauf feucht werden; bei den Dochten der Lampen und Kerzen, in denen das Oel oder das geschmolzene Fett über sein äußeres Niveau emporsteigt; bei magerem Thon, der auf Fettflecke, z. B. in hölzernen Fußböden oder in Kleidungsstücken aufgelegt, das durch Wärme flüssig gemachte Fett

aufsaugt; beim sogenannten Decken des Zuckers, wo das Wasser der oben auf die Zuckermasse in den Zuckerhutformen aufgelegten nassen Thonschichten nach allen Richtungen durch die Poren des Zuckers durchsikert und den im Zuckerhute zurückgebliebenen und ihn färbenden Syrup mit fortnimmt; bei den verschiedenen zum Filtriren von Flüssigkeiten dienlichen Stoffen, in welche diese Flüssigkeiten in Folge Capillaranziehung meistens unter Mitwirkung eines größeren hydrostatischen Druckes eindringen. In allen diesen Fällen bilden nämlich die unzähligen Poren der erwähnten Körper durch Aneinanderreihung nach allen Richtungen hin enge, haarröhrchenförmige Kanäle, in welche die betreffenden Flüssigkeiten eingesogen werden. Daß dies mit sehr großer Kraft geschehe, ersieht man unter andern aus folgenden Beispielen: Holz, das beim Feuchtwerden anquillt, zersprengt dabei selbst sehr feste eiserne Bänder und überwältigt die größten Hindernisse. So werden große Steinkörper dadurch mit einem Male und leicht von der übrigen Felsmasse abgesprengt, daß man in letztere an passenden Stellen Löcher oder Furchen einmeißelt, in diese Keile von trockenem Holz eintreibt und die Keile dann befeuchtet. Man kann die Knochen der Schädel von einander trennen, ja selbst Bomben zersprengen, wenn man die Schädel und Bomben mit trockenen Erbsen füllt und diese befeuchtet. Die Gewalt, womit ein naßgemachter Strick, indem er durch Einsaugen des Wassers dicker wird, sich verkürzt, ist so groß, daß er dabei die größten Lasten zu heben vermag. So war, als unter Sixtus V. in Rom ein Obelisk auf sein Piedestal (Fußgestelle) gehoben werden sollte und die Mangelhaftigkeit der dazu in Anwendung gebrachten Maschinerie die nöthige Hebung nicht gestattete, die Kraft, womit die Stricke, an welchen der 9000 Ctr. schwere Obelisk hing, nach vorgenommener Bespritzung mit Wasser sich verkürzten, allein hinreichend, diese große Last noch weit über das Piedestal emporzuziehen.

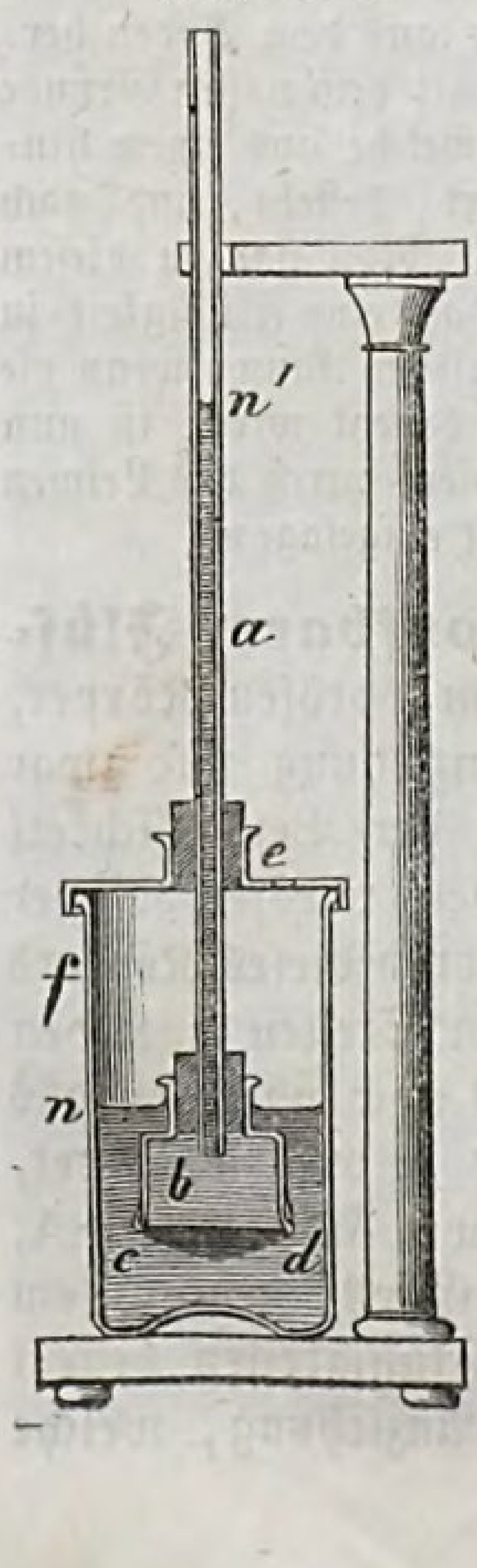
Man glaubte auch das Auf- und Niedersteigen (das Circuliren) des Saftes in lebenden Pflanzen als eine Wirkung der Capillaranziehung betrachten zu können. Obwohl nicht zu zweifeln ist, daß diese auch hiebei mit im Spiele sei, so kann sie doch keineswegs als alleinige Ursache davon zugegeben werden, weil man nach der Haarröhrchen-Theorie wohl einsieht, daß die Capillaranziehung eine Bewegung einleiten, durchaus aber nicht begreift, wie sie dieselbe fortwährend unterhalten kann. Auch die Höhe, bis zu welcher der Saft gehoben wird und das Ausfließen desselben aus lothrecht stehenden abgeschnittenen Pflanzentheilen streitet gegen die Capillartheorie.

2. Warum Flüssigkeiten einen porösen Körper, den sie nicht benetzen, auch nicht durchdringen können (solche Flüssigkeiten erfahren nämlich in den von den Poren gebildeten haarröhrchenähnlichen Kanälen eine Depression, welche ihr Aufsteigen und Fortbewegen durch diese Kanäle hemmt); deswegen geht Quecksilber nur unter Anwendung eines größeren Druckes durch ein feines Sieb aus unverzinntem Eisenblech oder durch die Poren von Leder hindurch, während das diese Materialien benetzende Wasser sehr leicht passirt. Aus gleicher Ursache kann bei Mauern, die auf nassem Grunde aufgeführt werden, das Feuchtwerden der aus dem Boden hervorragenden Parthien dadurch verhindert werden, daß man diese von den mit dem nassen Grunde in Berührung stehenden Theilen durch eine horizontale Schichte trennt, welche aus einem hinreichend dichten (wenig porösen) Stoff, der vom Wasser nicht benetzt wird, besteht, und nach allen Richtungen hin bis an die äußerste Oberfläche der Mauer reicht. Man hat zu diesem Zwecke das Einlegen dünner Bleiplatten in die Mauer vorgeschlagen. Daß eine Flüssigkeit in die Poren eines Körpers nicht eindringen, den Körper daher nicht durchziehen kann, wenn die Poren mit einer Substanz ausgefüllt sind, die von der Flüssigkeit nicht benetzt wird, ist nun für sich klar. Aus diesem Grunde wird das sogenannte Fließen des Papiers durch das Leimen desselben verhindert und Wasser von mit Oel getränktem Fließpapier nicht eingesogen.

122. Aktion der Theilchen verschiedener tropfbarer Flüssigkeiten auf einander. Steht eine Flüssigkeit mit einem porösen Körper, den sie benetzt, in Berührung, so wird sie in Folge Capillaranziehung und zwar mit einer von ihrer materiellen Beschaffenheit (von dem Grade der Beweglichkeit ihrer Theilchen, von der größeren oder geringeren Fähigkeit, den porösen Körper zu benetzen u. s. w.) abhängigen Schnelligkeit . . . (†) in die Poren dieses Körpers eindringen, kann aber durch diese Kraft allein nicht an andern Stellen aus den Poren wieder hervorfließen gemacht werden, sondern hiezu ist noch überdieß das Vorhandensein eines hydrostatischen oder eines andern Druckes erforderlich, der, wenn die Poren sehr eng sind, beträchtlich sein muß. Werden zwei Flüssigkeiten A, B durch eine poröse Scheidewand (z. B. aus thierischer Blase, Gyps, gebranntem und unglasirtem Thon oder dgl.) getrennt, welche von beiden Flüssigkeiten benetzt wird und diese letzteren ziehen einander chemisch an, so ist die Anziehung, welche

jede Flüssigkeit (von der andern) erfährt, einen auf sie einwirkenden Druck zu vergleichen, und es wird daher jede dieser Flüssigkeiten auf der abgewendeten Seite der Scheidewand aus deren Poren ausfließen und in die andere Flüssigkeit einströmen müssen. Kann nun die eine, z. B. **A**, vermöge ihrer Natur, schneller in die Poren der Scheidewand eindringen (†) als die andere **B**, so muß auch **A** zu **B** schneller überströmen, als umgekehrt **B** zu **A**, obgleich die diese Bewegung erzeugende Kraft, womit eine Flüssigkeit die andere anzieht, von beiden Seiten gleich stark wirkt. Die nothwendige Folge hievon ist, daß auf der einen Seite der Scheidewand die Menge der Flüssigkeit allmälig zu-, auf der andern Seite hingegen abnehmen muß. In der That findet dieses fast bei je zwei verschiedenen sich mischenden Flüssigkeiten, wie bei Wasser und wässerigen Salzlösungen, Weingeist, Säuren, Alkalien u. s. w. statt. Füllt man z. B. in eine am untern Ende mit einer Thierblase verbundene Glasröhre eine wässerige Lösung von Kupfervitriol und taucht dann das besagte Ende der Röhre in ein Gefäß mit Wasser, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre und sinkt außerhalb derselben, indem durch die Blase in einer und derselben Zeit weit mehr Wasser in die Röhre hinein- als Kupfervitriollösung herausdringt. Befindet sich das Wasser innen und die Kupfervitriollösung außen, so tritt in der Röhre ein Sinken und außerhalb ein Steigen der Flüssigkeit ein. Aehnliches findet statt, wenn die Röhre Weingeist und das äußere Gefäß Wasser enthält. Trennt man Schwefelsäure und Wasser durch eine Wand von porösem Thon, so vermehrt sich die Flüssigkeit auf der Seite der Schwefelsäure. Zwischen Wasser und verdünnter Schwefelsäure findet keine solche Wirkung Statt. Wie Thierblase verhalten sich auch verschiedene vegetabilische und animalische Häute, nur in einem andern Grade. In allen Fällen dauert die Zunahme der Flüssigkeitsmenge auf der einen und die Abnahme derselben auf der andern Seite, indem sie zugleich allmälig immer geringer wird, nur so lange fort, bis beide Flüssigkeiten durch ihre Vermischung ganz gleichartig geworden sind, wo dann keine weitere Veränderung im Stande der Flüssigkeiten mehr vor sich geht, wenn diese auch noch so ungleich hoch stehen. Daß aber die eine Flüssigkeit gegen die hydrostatischen Gesetze sich so hoch über die andere erheben kann, hat seinen Grund in der zu großen Feinheit der Poren der Scheidewand, welche die Fortpflanzung des hydrostatischen Druckes durch diese verhindern.

Fig. 212.



Dutrochet nannte die eben beschriebenen Phänomene Endosmose und Exosmose, je nachdem er die Zunahme der einen oder die Abnahme der andern der durch die Scheidewand getrennten Flüssigkeiten bezeichnen wollte; man reicht jedoch schon zu unzweideutiger Bezeichnung dieser Erscheinungen mit der Benennung Endosmose allein aus, wenn sie so gebraucht wird, daß man sagt: es finde Endosmose von der einen Flüssigkeit zur andern statt. So findet Endosmose statt vom Wasser zur Essigsäure, zur Salpetersäure, zur Salzsäure. Die Endosmose spielt in vielen Fällen, von denen wir einige in der Folge näher zu besprechen haben werden, und insbesondere in den Thier- und Pflanzenkörpern bei der Einsaugung und Verbreitung der diesen Körpern zur Nahrung dienenden Säfte, eine wichtige Rolle. An folgender von Dutrochet angegebenen und Endosmometer genannten Vorrichtung (Fig. 212) lassen sich die Erscheinungen der Endosmose gut beobachten. a ist eine etwa 8—12 Zoll lange, 1—2 Linien weite Glasröhre, die mittelst eines Pfropfes flüssigkeitsdicht in dem Halse eines glockenartigen Glasgefäßes b eingefügt ist, welches unten mit einem nach außen etwas vorstehenden Rand

versehen und mit einer oberhalb dieses Randes festgebundenen thierischen Blase cd überspannt ist. Das Ganze, zur Aufnahme der einen Flüssigkeit bestimmt, wird mittelst eines Pfropfes in dem abnehmbaren metallenen oder auch hölzernen Deckel eines weiteren Glasgefäßes in diesem Gefäße, wohin die zweite Flüssigkeit gebracht wird, schwebend erhalten. Man kann nun leicht den durch die Endosmose bewirkten Niveauunterschied nn_1 der betreffenden Flüssigkeiten beobachten.

VII. Abschnitt.

Gleichgewicht und Bewegung ausdehnsamer Körper (Aerostatik und Aerodynamik).

123. Kräfte und Eigenschaften der Gase. Wir haben in **18** die ausdehnsamen Körper in Gase und Dünste oder Dämpfe unterschieden. Hier wird nur von ersteren, d. i. von den Gasen, als deren Repräsentant uns die atmosphärische Luft dienen kann, die Rede sein; von den Dünsten oder Dämpfen soll erst in der Wärmelehre gehandelt werden. Die Grundlage aller Erscheinungen, welche die Gase im Gleichgewichts- oder Bewegungszustande darbieten, bilden wieder die auf ihre kleinsten Theilchen wirkenden Kräfte (die Molekularkräfte und die Schwere) und die durch diese Kräfte bedingten Eigenschaften der Gase, nämlich die absolut leichte Verschiebbarkeit, die Ausdehnsamkeit und Zusammendrückbarkeit, die Schwere und die Adhäsion.

124. Erscheinungen, die aus der absolut leichten Verschiebbarkeit der Theilchen eines Gases folgen. Es sind dies ganz die nämlichen Erscheinungen, die im **VI.** Abschnitte bei tropfbaren Flüssigkeiten aus der leichten Verschiebbarkeit der Theilchen dieser Körper abgeleitet wurden und die sich alle zuletzt auf die Fortpflanzung eines einseitigen Druckes nach allen Richtungen zurückführen lassen. Es gilt daher diese Fortpflanzung sammt allen daraus gezogenen Folgerungen auch für Gase, erfährt jedoch durch die Eigenschaften der Ausdehnsamkeit und Zusammendrückbarkeit dieser Körper manche Modifikationen, auf die wir an andern Orten aufmerksam zu machen Gelegenheit nehmen werden.

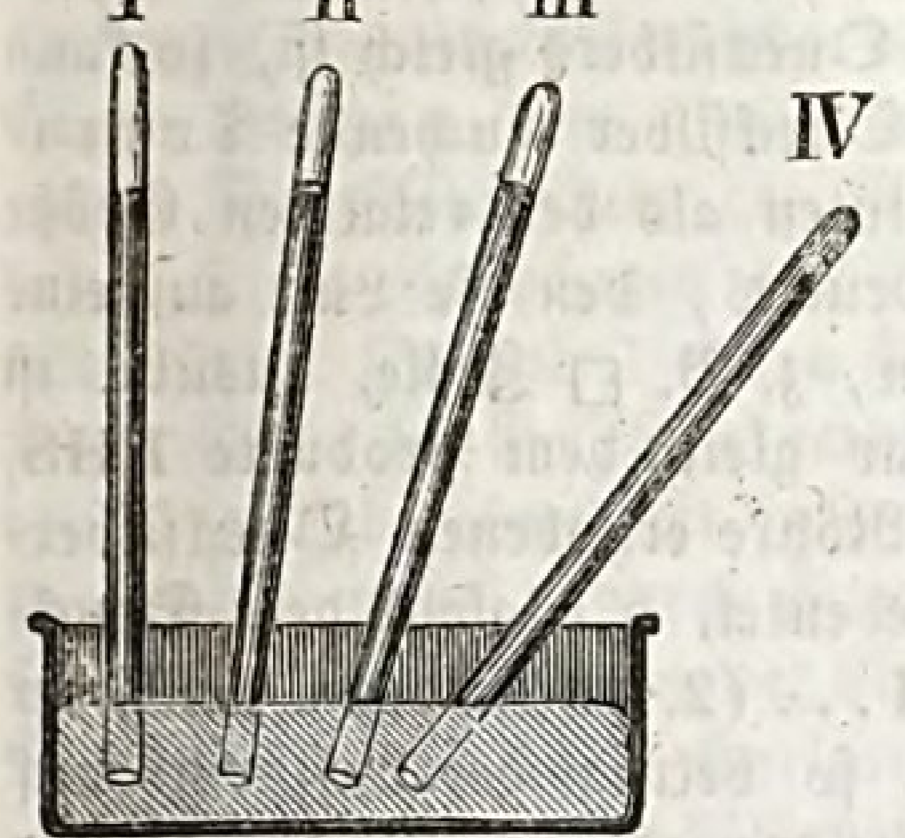
125. Ausdehnsamkeit und Zusammendrückbarkeit der Gase und durch sie begründete Erscheinungen. Die Ausdehnsamkeit, — d. i. die Eigenschaft der Gase, vermöge welcher ihre Theilchen sich stets von einander zu entfernen streben, und welche die nothwendige Folge des großen Uebergewichtes ist, welches die zwischen den Theilchen herrschende Abstoßungskraft über die unendlich kleine Anziehungskraft hat, womit sie auf einander wirken (**19**), — ist die Ursache, warum, wie die Erfahrung lehrt, ein Gas in jeder noch so geringen Menge den ganzen Raum, den man ihm darbietet, ausfüllt, und vermöge der Ausdehnsamkeit müssen die Theilchen eines Gases auf einander und gegen jede das Gas begrenzende oder in seinem Innern angenommene Fläche einen Druck mit einer Kraft üben, die man Spannkraft oder Expansivkraft (auch Tension oder Elasticität) des Gases nennt. Die Spannkraft, mit welcher ein Gas an irgend einer Stelle auf die Flächeneinheit wirkt, also der Druck, den es daselbst auf die Fläche = 1 übt, ist das natürlichste Maß der an dieser Stelle herrschenden Ausdehnsamkeit des Gases, und das einfachste Mittel, die Größe dieses Druckes zu bestimmen, besteht darin, daß man das Gas in passender Art auf eine tropfbare Flüssigkeit wirken läßt und die Höhe jener Säule von der Grundfläche = 1 dieser

Flüssigkeit mißt, deren hydrostatischem Drucke das Gas durch seine Spannkraft das Gleichgewicht hält. Das Produkt aus der gemessenen Höhe in das spezifische Gewicht der tropfbaren Flüssigkeit ist dann der Ausdruck für die Größe der Spannkraft des Gases . . . . (91)

Unter allen tropfbaren Flüssigkeiten empfiehlt sich zu dem erwähnten Zweck vorzüglich das Quecksilber, und zwar wegen seiner selbst bei höhern Temperaturen geringen Flüchtigkeit (d. i. geringen Tendenz, in den ausdehnsamen Zustand überzugehen) und weil davon wegen seines großen spezifischen Gewichtes zur Messung selbst sehr bedeutender Spannkräfte nur Säulen von geringer, in der Anwendung bequemer Länge erforderlich sind. Werden aber die Spannkräfte der Gase in allen Fällen mittelst Quecksilber des nämlichen spezifischen Gewichtes gemessen, so verhalten sich offenbar ihre Größen direkt wie die Höhen der Quecksilbersäulen, welche durch die Spannkräfte der Gase getragen werden. Damit jedoch das Quecksilber immer das nämliche spezifische Gewicht habe, ist nothwendig, daß es in ganz reinem, von fremden Stoffen freiem Zustande und stets bei der nämlichen Temperatur angewendet werde; denn da das Quecksilber, so wie jeder andere Körper, durch die Wärme ausgedehnt. mithin weniger dicht wird, so nimmt dessen, der Dichte direkt proportionales spezifisches Gewicht (man sehe die Anmerkung auf S. 202) offenbar mit der Temperatur ab. Man muß daher, um die Größen der Spannkräfte der Gase den Höhen der durch sie getragenen Quecksilbersäulen proportional setzen zu können, immer mit reinem Quecksilber und entweder stets bei derselben Temperatur experimentiren oder die bei verschiedenen Temperaturen des Quecksilbers gefundenen Höhen der Säulen des letzteren früher auf die Höhen zurückführen, welche diese Säulen bei einer bestimmten, einer sogenannten Normal-Temperatur, hätten zeigen müssen. Die Erfüllung der ersten Bedingung, das Experimentiren bei einer und derselben Temperatur nämlich, hat man selten in seiner Macht; man leistet daher gewöhnlich der letzteren Bedingung Genüge und nimmt in der Regel als Normaltemperatur den Aufthauungspunkt (Eispunkt) an. Wie diese Zurückführung der Quecksilberhöhe auf die Normaltemperatur geschieht, wird in der Folge an einem passenderen Orte gezeigt werden . . . . (†).

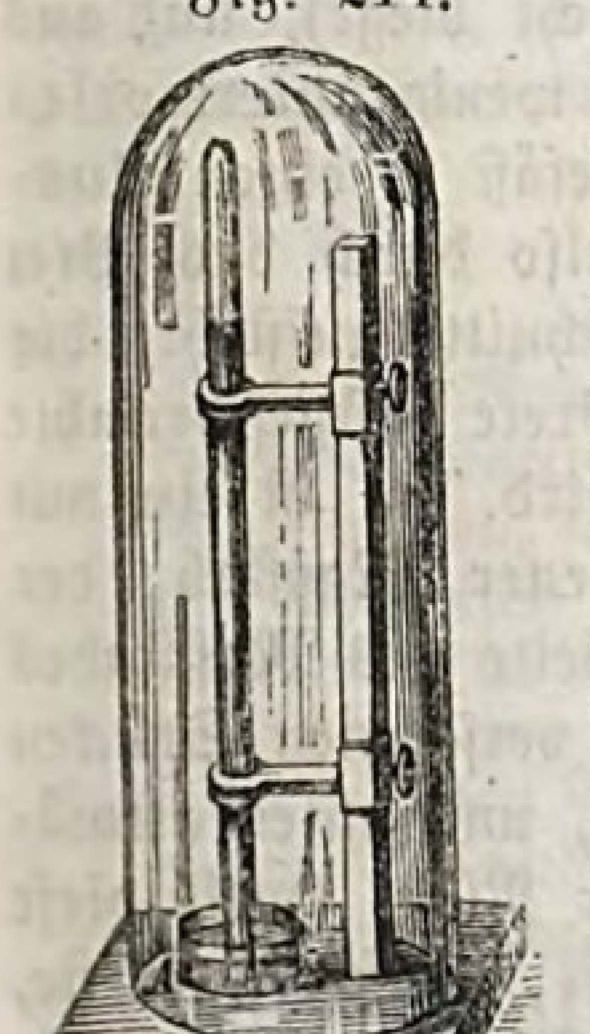
126. Druck der im natürlichen Zustande befindlichen atmosphärischen Luft als Folge ihrer Ausdehnsamkeit. Füllt man eine etwa 30 bis 36 Zoll lange, einige Linien weite, an dem einen Ende geschlossene Glasröhre mit Quecksilber, schließt hierauf das offene Ende mit dem Finger, kehrt sie um, taucht sie in vertikaler Stellung mit dem zugehaltenen Ende unter Quecksilber und zieht dann den Finger weg, so tritt ein Theil des Quecksilbers unten aus der Röhre heraus und der Rest bleibt, dem hydrostatischen Gesetz (70) S. 167 zuwider, darin so schwebend, daß dessen Oberfläche ungefähr 28 Zoll hoch über der Oberfläche des außerhalb der Röhre befindlichen Quecksilbers steht. Neigt man die Röhre, so bleibt sich dieser senkrechte Abstand der Oberflächen des Quecksilbers in und außerhalb der Röhre immer gleich, die innere Oberfläche nähert sich dabei natürlich dem obern, geschlossenen Ende der Röhre desto mehr, je stärker diese geneigt wird, bis endlich die Neigung so groß geworden, daß die vertikale Entfernung des geschlossenen Röhrenendes von der äußern Quecksilberoberfläche gerade ebenso viel oder weniger beträgt, als der vorbesagte Abstand beider Quecksilberoberflächen bei vertikaler Stellung der Röhre, wo dann diese mit Quecksilber ganz angefüllt erscheint (man sieht alle diese Fälle bei **I, II, III, IV** in Fig. 213 dargestellt). Da die Quecksilbersäule in der Röhre nicht durch Adhäsion am Glase schwebend erhalten werden kann, wie aus der Convexität ihrer Oberfläche sattsam erhellet; da ferner diese Quecksilbersäule in den Fällen **I, II, III**, wo sie nämlich die Röhre nicht ganz ausfüllt, gegen die Flächeneinheit des Quecksilbers im Gefäße immer einen gleichen hydrostatischen Druck übt (indem die diesen Druck bestimmenden Größen, d. i. die Grundfläche, die

Fig. 213.



Höhe und das spezifische Gewicht der drückenden Säule die nämlichen sind), so kann wohl die Quecksilbersäule in der Röhre nur dadurch über dem Quecksilber im Gefäße erhalten werden, daß dem hydrostatischen Drucke der ersteren (der Quecksilbersäule in der Röhre) ein auf die Oberfläche des letzteren (des Quecksilbers im Gefäße) stattfindender gleicher Druck entgegenwirkt. Dieser Druck kann nur von der atmosphärischen Luft herkommen, die einzig und allein mit der letzterwähnten Oberfläche in Berührung steht, und seine Größe, auf die Flächeneinheit bezogenen, muß dem auf die Flächeneinheit bezogenen hydrostatischen Druck der in der Röhre erhaltenen Quecksilbersäule, d. h. dem Drucke einer Quecksilbersäule gleich sein, welche die Flächeneinheit zur Basis und den Abstand der Quecksilberoberflächen in und außerhalb der Röhre zur Höhe hat... (1. Ist dieser Schluß richtig, d. h. die Luft wirklich die Ursache des besagten Druckes, so muß, wenn die Röhre am obern Ende geöffnet wird (was am leichtesten geschehen kann, wenn sie daselbst mit einem Hahne versehen ist), so daß die Luft auch auf die innere Oberfläche des Quecksilbers wirken kann, dieses in der Röhre bis zur Quecksilberoberfläche im Gefäße hinabsinken, oder wenn man zum ganzen Versuch anstatt des Quecksilbers eine andere Flüssigkeit z. B. Wasser wählt, so muß (wenn man der Röhre eine hinreichende Länge gibt) die Höhe der darin schwebend bleibenden Wassersäule sich zur Höhe der besagten Quecksilbersäule wie umgekehrt das spezifische Gewicht des Quecksilbers zu jenem des Wassers verhalten (denn nur unter dieser Bedingung hat das die Größe des hydrostatischen Druckes darstellende Produkt für beide Flüssigkeitssäulen einerlei Werth, mithin der hydrostatische Druck beider Säulen einerlei Größe). In der That stellt sich gleich, nachdem die Röhre oben geöffnet worden, das Quecksilber in- und außerhalb derselben gleich hoch (steht es in der Röhre etwas niedriger, so kömmt dies auf Rechnung der Capillardepression) und wirklich ist auch die frei schwebend bleibende Säule beim Wasser im Verhältniß zu jener beim Quecksilber 13·6mal, also gerade so viele Male länger, als das spezifische Gewicht des Quecksilbers (14·1) jenes des Wassers (1) übertrifft. Die Höhe der Wassersäule beträgt nämlich sehr nahe 381 Zoll oder 31 Fuß 9 Zoll, wenn die Quecksilbersäule 28 Zoll hoch ist. Da der beschriebene Versuch mit der Röhre und dem Quecksilber zuerst von **Torricelli** (im Jahre 1643) angestellt worden, so nennt man die dazu dienliche Röhre die **Torricelli'sche Röhre** und der darin über dem Quecksilber entstehende leere Raum heißt die **Torricelli'sche Leere**.

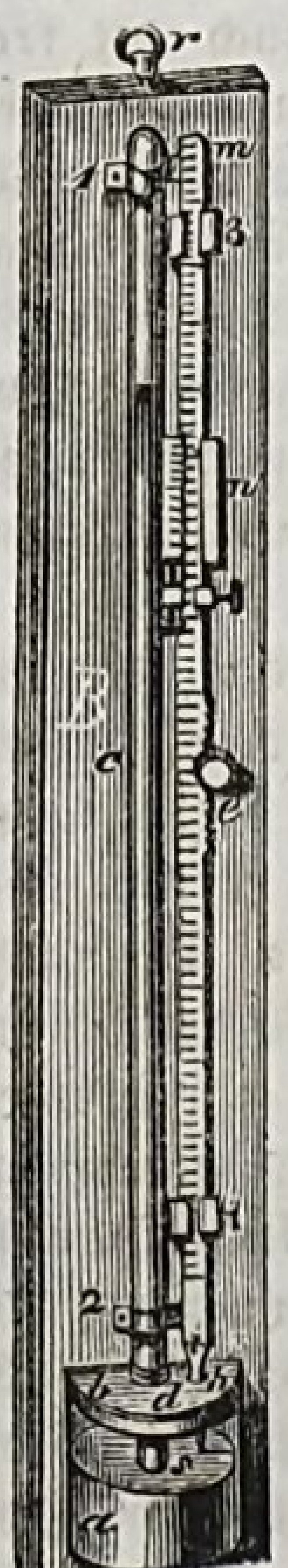
Fig. 214.



Der Druck, wodurch, wie eben gezeigt worden, die atmosphärische Luft das Quecksilber in der **Torricelli'schen** Röhre schwebend erhält, und den sie, ihrer Natur zu Folge, auch auf alle andern, mit ihr in Berührung stehenden Körper übt, kömmt zunächst von ihrer Spann- oder Expansivkraft. Denn setzt man die unmittelbar über dem Quecksilber außerhalb der Röhre befindliche Luft dadurch außer Communication mit der übrigen Atmosphäre, daß man über die Röhre und das zugehörige Quecksilbergefäß einen auf dem Träger des letzteren luftdicht aufstehenden Glassturz stellt (Fig. 214) oder das nur zum Theil mit Quecksilber und übrigens mit Luft gefüllte Gefäß **A** oben luftdicht verschließt, so ändert sich der Stand des Quecksilbers in der Röhre nicht; dieses steigt oder sinkt aber sogleich, wenn die in dem Glassturze oder im Gefäße **A** abgesperrte Luft erwärmt oder erkaltet und dadurch ihre Expansivkraft vermehrt oder vermindert wird.

Da nach (1 auf S. 233 die Größe des Luftdruckes auf die Flächeneinheit dem Produkte aus der Höhe der in der Torricelli'schen Röhre schwebend erhaltenen Quecksilbersäule in das spezifische Gewicht des Quecksilbers gleich ist, so kann eine, Quecksilber enthaltende und in ein Gefäß mit Quecksilber tauchende Torricelli'sche Röhre sowohl zur Bestimmung der absoluten als der relativen Größe des Luftdruckes dienen. Die absolute Größe des Druckes, den die Luft auf eine Fläche **F** von einer gewissen Anzahl Flächeneinheiten, z. B. □ Zolle, ausübt, ist zu Folge des eben vorher citirten Satzes (1 offenbar gleich dem Produkte **FHS**, wenn **H** die Höhe der in der Torricelli'schen Röhre erhobenen Quecksilbersäule und **S** das spezifische Gewicht des Quecksilbers bedeutet, d. i. gleich dem Drucke einer Quecksilbersäule von der Basis **F** und der Höhe **H** . . . (2. Wenn das Quecksilber in der Torricelli'schen Röhre 28 Zoll hoch steht, so beträgt der Luftdruck auf 1 □ Zoll sehr nahe $12^3/_4$ wiener Pfund. Man pflegt eine diesem Drucke gleiche Kraft eine Atmosphäre zu nennen und beim Messen größerer Kräfte als Einheit anzunehmen. Aendert sich die Größe des Luftdruckes, so kann — da die Basis der durch ihn getragenen Quecksilbersäule und das spezifische Gewicht des Quecksilbers unter übrigens gleichen Umständen immer die nämlichen bleiben — diese Aenderung sich nur in der Länge der getragenen Quecksilbersäule aussprechen, und diese muß dann, zu Folge (2, stets der Größe des Luftdruckes proportional sein, so daß, wenn die Quecksilbersäule in der Torricelli'schen Röhre zu verschiedenen Zeiten verschiedene Höhen zeigt, diese unmittelbar das Verhältniß der Größen des zu diesen Zeiten stattfindenden Luftdruckes angeben, die Torricelli'sche Röhre demnach auch zur Bestimmung der relativen Größe (zum Messen) des Luftdruckes, d. i. als Luftdruckmesser, als Barometer dienen kann. Damit sie zu diesem Zwecke bequem sei und die erforderliche Genauigkeit gewähre, hat man ihr im Verlaufe der Zeit sehr verschiedene Einrichtungen gegeben und so Barometer der mannigfaltigsten Form und Art erhalten, von denen der Zweckmäßigkeit ihrer Einrichtung wegen noch heut zu Tage folgende im Gebrauche sind:

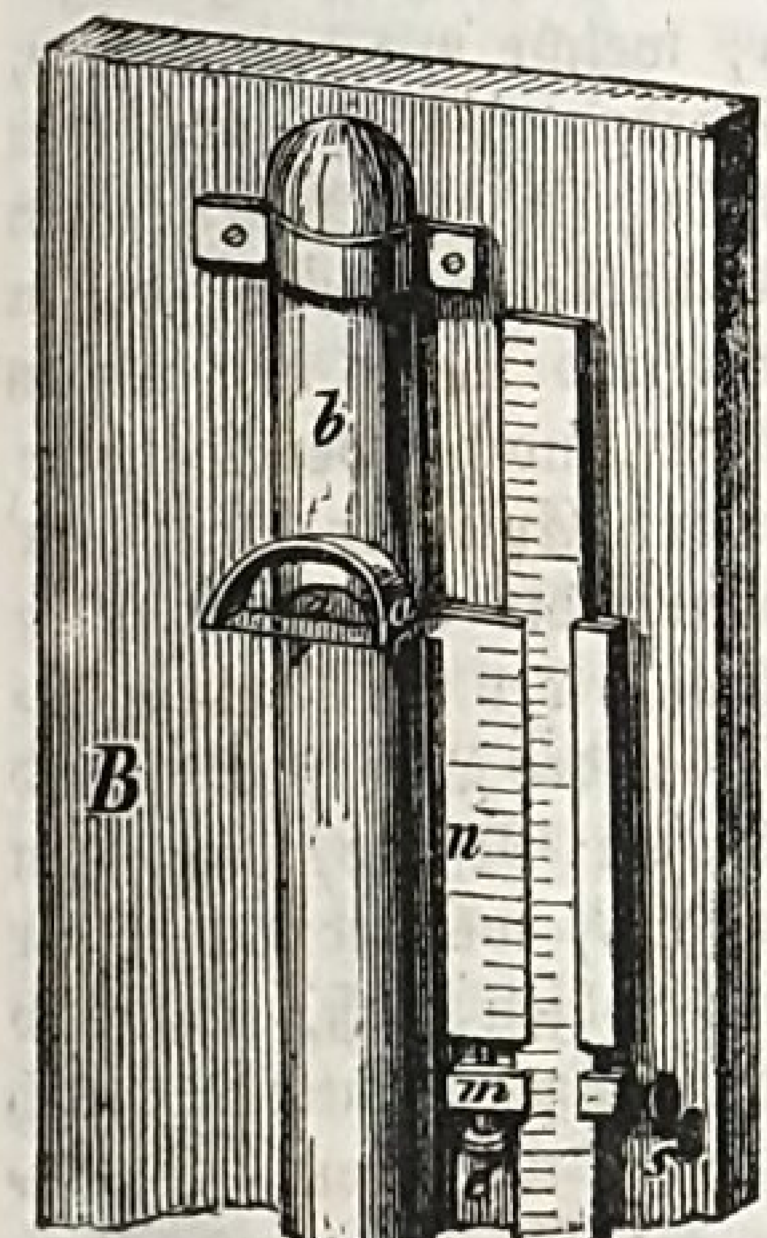
Fig. 215.



1. Das Gefäßbarometer, welches in seiner einfachsten Gestalt durch Fig. 215 anschaulich gemacht wird. a ist ein gläsernes, am besten cylindrisches Gefäß, welches einen festgemachten Deckel b von Holz, Bein oder auch Metall (wie Eisen oder Packfong, das von Quecksilber nicht angegriffen wird) hat, in dessen Mitte die Torricelli'sche Röhre c entweder eingekittet oder mittelst einer sie einschließenden und auf ihr festgekitteten Hülse d eingeschraubt ist, so daß ihr unteres, offenes Ende bis nahe an den Boden des nicht ganz mit Quecksilber gefüllten Gefäßes a reicht. Dieses Gefäß und die Glasröhre sind an einem Brete **B** von gerade hinreichender Länge und Breite (einer solchen Dicke, daß es sich nicht biegt), und aus trockenem, dem Werfen und Verziehen möglichst wenig unterworfenen Holze befestigt, und zwar so, daß das Gefäß in einen Ausschnitt des Bretes eingelassen ist, zum Theil also durch das Bret hindurchgeht und mit dem Boden unten im Ausschnitte aufsteht, die Röhre aber oben und unten durch auf dem Brete festgeschraubte Klammern 1, 2, auf diesem nieder gehalten wird. m ist ein mit einem Nonius n versehener, gewöhnlich messingener Maßstab, der vermittelst eines Getriebes e, das in, an der Seite des Maßstabes vorhandene Zähne eingreift, sich in mit Nuthen versehenen Stücken 3, 4 längst der Röhre c auf und ab bewegen läßt, und unten allmälig in einen Kegel i von Stahl, Packfong oder Nickel (weil diese Metalle durch Quecksilber nicht leiden) ausläuft, dessen äußerste, etwas abgerundete Spitze s den Anfangspunkt der Theilung des Maß-

stabes bildet, der ferner durch eine runde, entsprechend große Oeffnung h im Deckel b ins Gefäß a hinein versenkt werden kann, und bevor er dessen Boden erreicht, die Oeffnung h quecksilberdicht verschließt. Soll nun der Barometerstand, d. i. die Länge der von dem Luftdrucke über der Quecksilberoberfläche im Gefäße erhaltenen Quecksilbersäule der Röhre gemessen werden, so bringt man die Röhre durch freies Aufhängen des Barometers am Ringe r in eine vertikale Lage, stellt mittelst des Getriebes e den Maßstab so, daß seine Spitze s mit der Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße a gerade nur in Berührung tritt und liest dann den Stand der Quecksilberoberfläche in der Röhre am Maßstabe mit Hilfe des Nonius genau ab. Um hiebei nicht dadurch einen Fehler zu begehen, daß man das Auge gegen die Quecksilberoberfläche in der Röhre zu hoch oder zu niedrig hält *), muß diesem der Platz in der nämlichen Horizontalebene angewiesen werden, in welcher sich der Gipfel der convexen Quecksilberoberfläche in der Röhre befindet, und zu diesem Ende ist der Nonius mit einem sogenannten Absehen versehen. Unter den verschiedenen möglichen Einrichtungen eines solchen Absehens empfiehlt sich jene durch Einfachheit und Zweckmäßigkeit, wo dasselbe, wie Fig. 216 zeigt, aus einem kleinen, am Nonius festgemachten Rahmen a besteht, der sich bei Verschiebung des Nonius vor der Barometerröhre b auf und ab bewegt und zwei hinter einander gespannte parallele Fäden oder feine Drähte 1, 2 enthält, die mit dem Anfangspunkte der Noniuseintheilung in der nämlichen Horizontalebene liegen. Stellt man nun bei Messung des Barometersstandes den Nonius so ein, daß das vor dem Faden 1 angebrachte Auge den Gipfel der Quecksilberkuppe und die obern Kanten beider Fäden in einerlei Ebene liegend erkennt, indem der Gipfel und diese Kanten sich gerade decken, so ist der vorerwähnte Fehler im Ablesen gänzlich vermieden **). — Um das Barometer bequem und ohne daß dabei der Röhre von einer raschen Bewegung der Quecksilbersäule gegen das verschlossene Ende Gefahr droht, transportiren zu können, bewegt man den Maßstab so weit herab, daß sein unteres konisches Ende die Oeffnung h im Gefäßdeckel (Fig. 215) quecksilberdicht verschließt, neigt dann das Barometer, bis (wie bei IV in Fig. 213) die ganze Röhre mit Quecksilber angefüllt ist, und kehrt es jetzt um, so daß das Quecksilbergefäß nach oben, und die Röhre nach unten gekehrt ist. In diesem Zustande läßt sich das Barometer leicht wo immer hin übertragen. Soll es wieder zu Luftdrucks-Beobachtungen gebraucht werden, so hat man es nur in seine vorige Stellung umzukehren, vertikal aufzuhängen, den Maßstab so weit zu heben, daß sein konisches Ende die Oeffnung h im Gefäße nicht mehr luftdicht schließt (die

Fig. 216.



*) Man würde nämlich in keinem der beiden Fälle die besagte Oberfläche mit dem Theilstriche des Maßstabes zusammenfallen sehen, der mit ihr gleich hoch, d. i. in einer und derselben Horizontalebene gelegen ist und die wahre Höhe der zu messenden Quecksilbersäule angibt, sondern im ersteren Falle, wo das Auge zu hoch gehalten wird, würde die Oberfläche der Säule mit einem niedrigeren Theilstrich zusammen zu fallen scheinen, man würde daher die Höhe der letzteren für geringer halten, als sie wirklich ist, und im zweiten Falle müßte gerade die entgegengesetzte Täuschung stattfinden.

**) Die zu diesem Behufe erforderlichen feinen Bewegungen werden dem Nonius, der vorher durch Verschieben mit der Hand die beiläufige Stellung erhalten hat, mittelst einer Mikrometerschraube e ertheilt, nachdem vorher das ebenfalls längst des Maßstabes verschiebbare Lager m derselben mit Hilfe der Schraube 5 an dem Maßstabe festgestellt worden.

äußere Luft somit in das Gefäß dringen und auf die Quecksilberoberfläche darin wirken kann), und dann endlich Maßstab und Nonius weiter gehörig einzustellen. Damit bei dem besagten Zurückbringen des Barometers in seine eigentliche, aufrechte Stellung keine Luft in die Röhre gelangt und darin aufsteigt, darf das untere Ende der Röhre, wenn es bei umgekehrter Stellung des Barometers nach oben gewendet ist, nicht aus dem Quecksilber im Gefäße hervorstehen und überhaupt beim Umkehren des Instrumentes nie aus diesem Quecksilber heraustreten; worauf bezüglich der Menge des Quecksilbers im Gefäße wohl Rücksicht zu nehmen ist. . . (†)

Anstatt bei dem beschriebenen Barometer den Maßstab beweglich zu machen, kann dieser auch auf dem Brete **B** unverrückbar befestigt und dafür das Gefäß so eingerichtet sein, daß sich die ganze Quecksilbermasse darin heben und senken läßt, bis deren Oberfläche mit der äußersten Spitze **s** (dem Anfangspunkte) des Maßstabes gerade in Berührung steht. Zu diesem Ende besteht, wie Fig. 217 zeigt, das Quecksilbergefäß aus einem gläsernen Cylinder mit Deckel und Boden aus Holz, Bein oder (am besten) aus Metall, und durch die Mitte des Bodens, der auf einer an dem Glascylinder festgemachten (festgekitteten) Fassung angeschraubt ist, geht eine Schraube **w**, welche mit dem oberen, abgerundeten oder einen abgerundeten Knopf tragenden Ende **k** gegen einen runden, schlaffen, in der Mitte einen Sack bildenden Fleck **o** aus Handschuhleder wirkt, dessen Umkreis auf dem Boden festgeleimt und wenn der Boden auf dem Cylinder festgeschraubt wird, noch überdies zwischen dem eben geschliffenen Rand des Cylinders und dem Boden fest eingeklemmt ist. Wird nun die Schraube **w** in die Höhe geschraubt, so erhebt sich auch der freie (nicht angeleimte und nicht eingeklemmte) Theil des Lederfleckes und somit auch die Quecksilberoberfläche im Gefäße, wogegen diese beim Hinabdrehen der Schraube **w**, welcher das Leder unter dem Drucke des Quecksilbers folgen muß, sinkt, so daß man, wenn der Lederfleck einen hinreichenden Spielraum gestattet, durch entsprechende Drehung der Schraube **w** die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße bei jedem Quecksilberstand in der Röhre immer an die Spitze **s** des Maßstabes bringen kann. Da die Höhe der durch den Luftdruck getragenen Quecksilbersäule in allen Fällen immer zwischen 12 und 30 Zoll liegt, so braucht der oft erwähnte Maßstab erst vom 12ten Zollstrich aufwärts getheilt und nicht länger als 30 Zoll zu sein. In diesem Falle kann auch der ganze Maßstab erspart und durch einen 18 Zoll langen (und mit einem Nonius versehenen) Maßstab vollkommen ersetzt werden, wenn im Deckel **b** des Gefäßes ein vertikal abwärts stehender, in eine Spitze endigender Stift **t** aus Eisen, Stahl, Nikel oder, wie meistens, aus Glas (Fig. 218) festgemacht und der kurze, 18zöllige Maßstab neben dem Barometerrohr und ihm parallel auf dem Brete **B** so befestigt wird, daß sein unterster, mit 12 Zoll bezeichneter Theilstrich von der äußersten Sitze des Stiftes **t** genau um 12 Zoll und somit die höheren, z. B. mit 26, 27 u. s. w. Zoll bezeichneten Theilstriche um 26, 27 u. s. w. Zolle von dieser Spitze abstehen. Anstatt der ziemlich großen Oeffnung **h** im Deckel, die jetzt überflüssig ist, wird dann nur eine ganz kleine, mit einem einschraubbaren Stöpsel **u** quecksilberdicht verschließbare Oeffnung angebracht, und dieser Stöpsel etwas

Fig. 217.

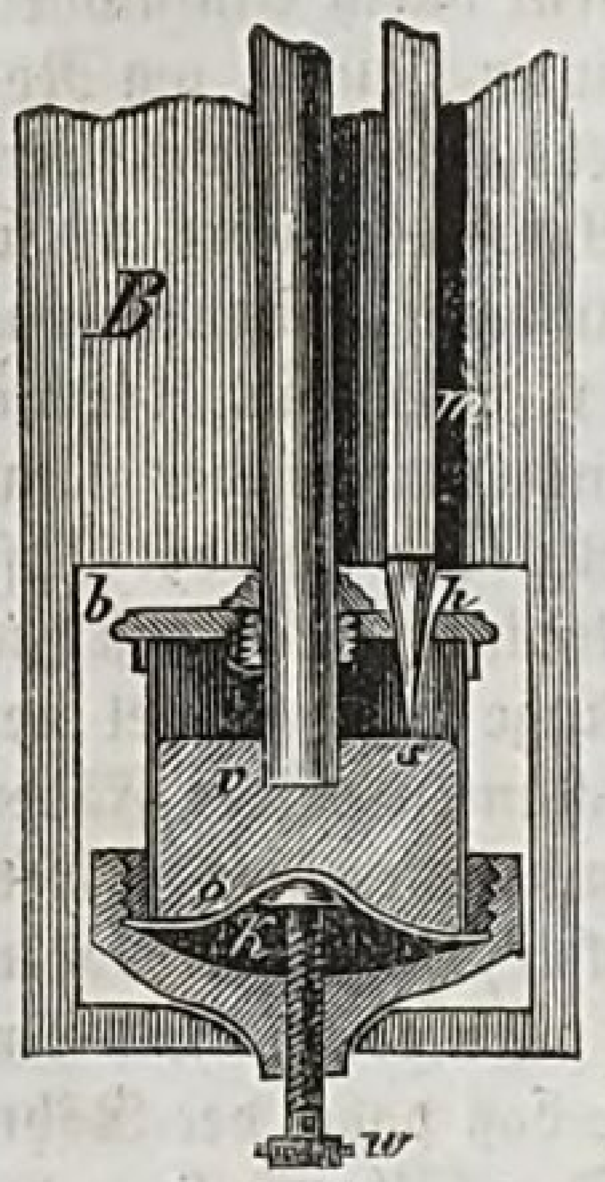
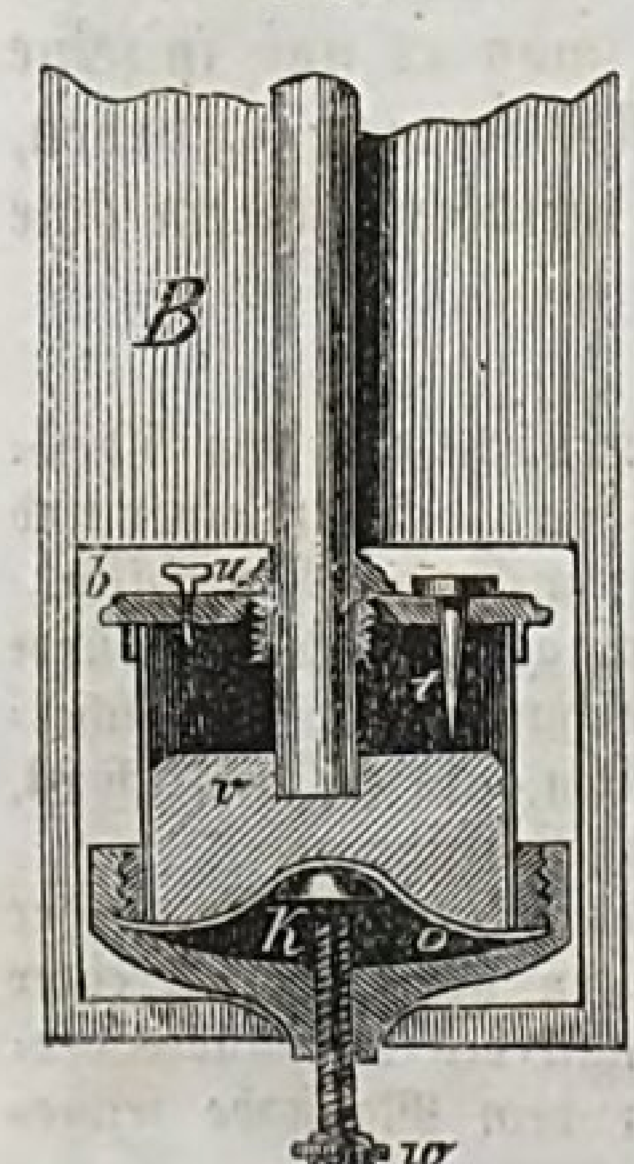


Fig. 218.



gelüftet, wenn mit dem Barometer beobachtet werden, also die äußere Luft auf das Quecksilber im Gefäße einwirken soll.

Man verfertigt auch das ganze Quecksilbergefäß aus Holz, Bein, oder Metall, und in diesem Falle zeigt ein aus dessen Deckel emporragender Schwimmer an, wann die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße von dem z. B. mit 26, 27 u. s. w. Zoll bezeichneten Theilstriche des an dem Brete festgemachten kurzen Maßstabes senkrecht genau um 26, 27 u. s. w. Zoll absteht. Der Schwimmer (Fig. 219) besteht aus einer kleinen Scheibe u von Elfenbein, aus der ein (meistens) cylindrischer Stift l von gleichem Materiale empor und durch eine cylindrische Oeffnung o im Deckel hindurch geht, die demselben eine freie Auf- und Abbewegung gestattet. An diesem Stifte ist ein feiner, genau horizontal um ihn herumgehender, farbiger Strich in einer solchen Entfernung von der Scheibe u angebracht, daß derselbe an der obern (als genau horizontal vorausgesetzten) Fläche des Deckels gerade zum Vorschein kömmt (in die Ebene dieser Fläche fällt), wenn die Oberfläche des Quesilbers im Gefäße den vorerwähnten gehörigen Stand gegen die Theilstriche des Maßstabes hat, d. i. am Null- oder Anfangspunkte des Maßstabes steht. Manchmal spielt der Stift l in einer kurzen, aus dem Deckel vertikal emporstehenden Hülse (kleinen Röhre), deren oberer eben geschliffener (bei vertikaler Stellung der Barometerröhre) horizontaler Rand dann bezüglich der besagten farbigen Marke die Stelle der oberen Fläche des Deckels vertritt; es fällt nämlich die Marke mit diesem Rande zusammen, sobald die Quecksilberoberfläche im Gefäße am Anfangspunkte des Maßstabes steht. Bevor man das Barometer zum Behufe des Transportirens umkehrt, wird die in den Muttern 1, 2 laufende Schraube ce herabgedreht, bis der Knopf c an ihrem unteren Ende den Stift l in den Deckel oder in die Hülse hineingedrückt hat und auf der betreffenden Oeffnung o im Deckel oder auf der Hülse quecksilberdicht aufsitzt.

Fig. 219.

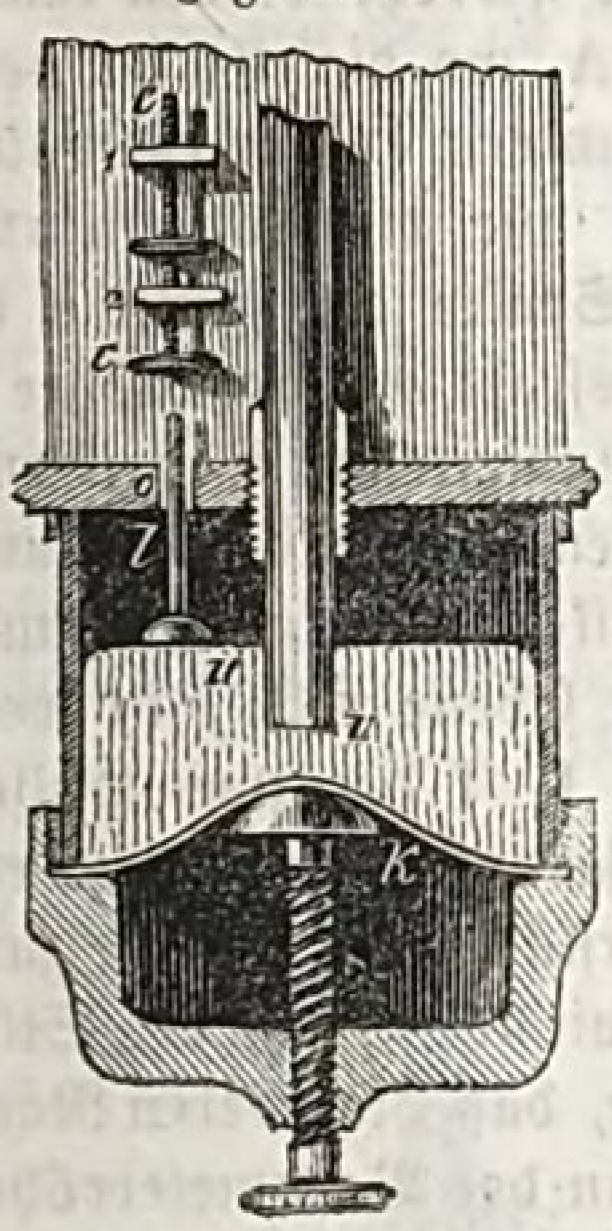
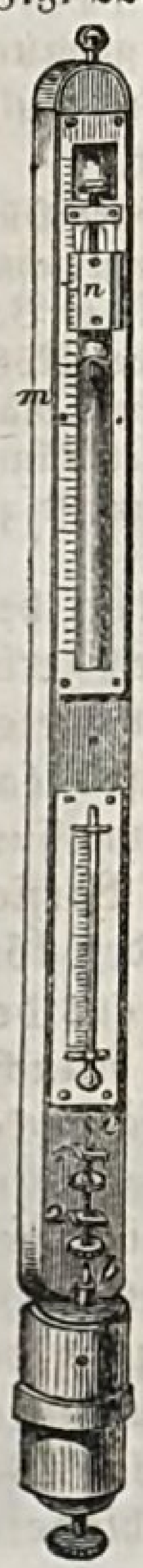
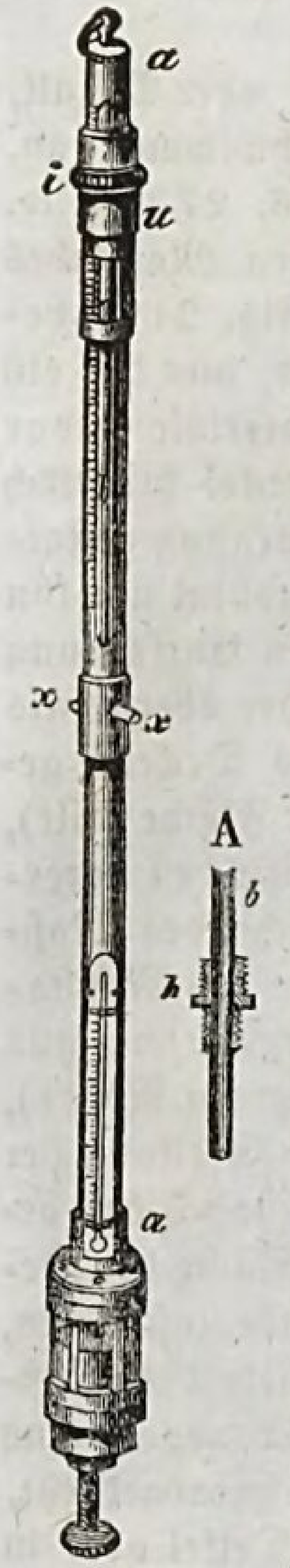


Fig. 220.



Besteht das Quecksilbergefäß in der eben beschriebenen Art ganz aus Holz oder Bein, so ist, wie dies die Fig. 220 zeigt, ein die Barometerröhre einschließendes, hölzernes Gehäuse am Obertheil des Quecksilbergefäßes befestigt und dieses Gehäuse ist nicht breiter und dicker als die Röhre und der neben derselben anzubringende Maßstab m sammt Nonius n es gerade nothwendig macht, was den Umfang und das Gewicht des Instrumentes bedeutend vermindert. Bei den Barometern, wo das Gefäß gläserne Wände hat und die Einstellung der Quecksilberoberfläche darin zum Anfangspunkt des Maßstabes mittelst der durch den Boden gehenden Schraube w (Fig. 217) geschieht, wird am zweckmäßigsten die Röhre dadurch mit dem Gefäße vereinigt und zugleich gegen Beschädigung geschützt, daß man sie, wie Fig. 221 anschaulich macht, in eine kurze, äußerlich mit Schraubengewinden versehene metallene Hülse h, die bei A im Durchschnitt abgebildet ist, einkittet, den Untertheil dieser Hülse nachher im Metalldeckel des Gefäßes einschraubt und auf dem obern Gewinde der Hülse eine messingene Röhre a festschraubt, welche der gläsernen Barometerröhre b als Hülle dient und nur etwas Weniges länger und weiter ist, als diese. Damit die Glasröhre in der Messingröhre ganz unbeweglich steht, steckt das obere, geschlossene Ende der ersteren in einem Korkpfropfe, der oben die Messingröhre ausfüllt. Um den Stand der Quecksilberoberfläche in der Röhre b beobachten und genau bestimmen zu können, hat die Messingröhre a der

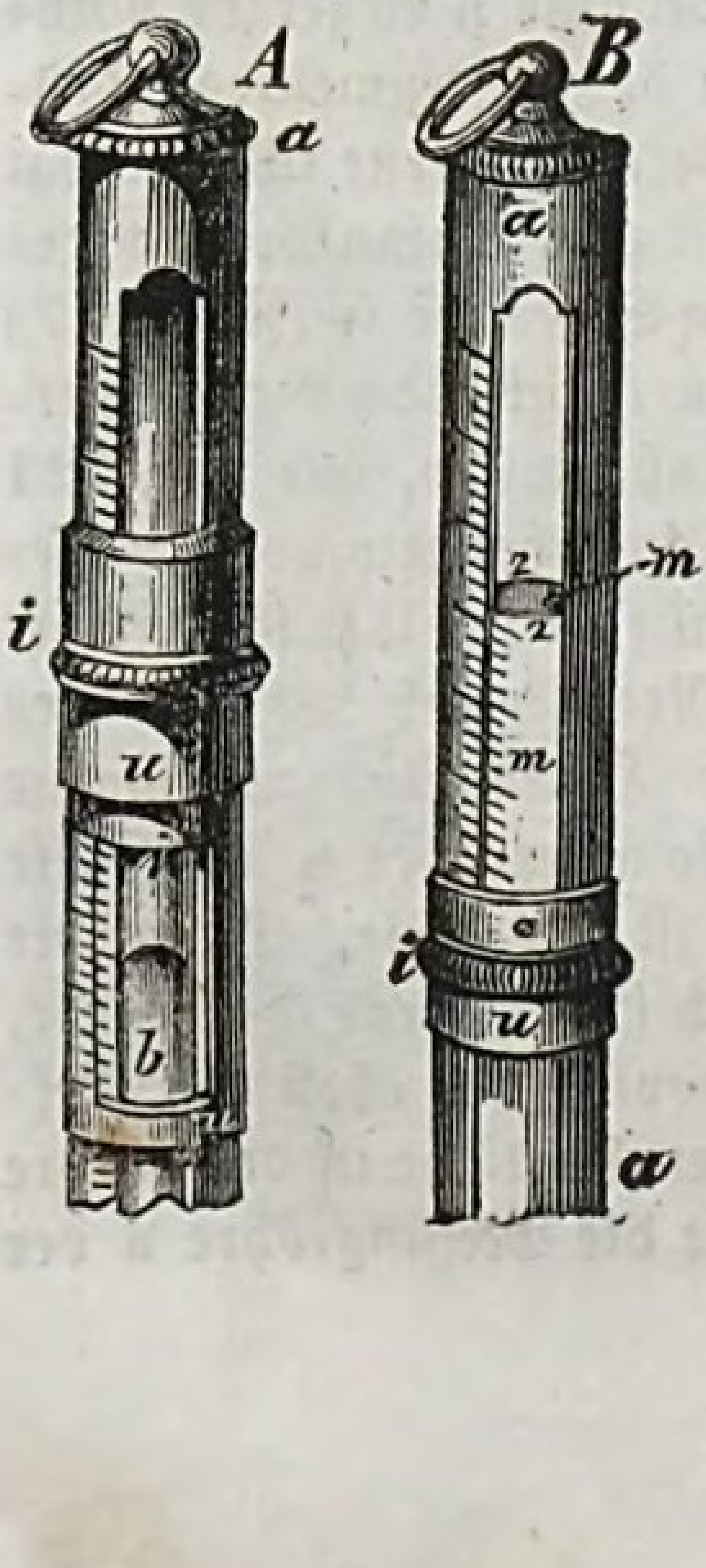
Fig. 221.



Länge nach, so weit diese Quecksilberoberfläche bei den größten vorkommenden Extremen des Luftdruckes spielt, zwei einander diametral gegenüberstehende Spalten. Der einen dieser Spalten zur Seite sind auf der Messungsröhre a selbst die Theilstriche des Maßstabes eingerissen, dessen Anfangspunkt die Spitze des im Gefäße vom Deckel abwärts stehenden Stiftes bildet. Auf der Messingröhre läßt sich ferner eine dieselbe einschließende kurze Hülse u, gleichfalls von Messing, mit Reibung auf- und abschieben, ohne daß sie gedreht werden kann, und diese Hülse hat, wie man in Fig. 222 bei A, wo dieselbe im vergrößerten Maßstabe dargestellt ist, in ihrer untern Hälfte ebenfalls zwei einander gegenüberstehende Längenspalten wie die Röhre a und an derselben Stelle wie diese. Die vordere Spalte der Hülse u ist so breit, daß sie die Theilstriche der Maßstabsscale auf der Röhre a nicht ganz bedeckt, und der über diese Scale hingleitende Seitenrand der eben besagten Spalte bildet, indem er die entsprechende Theilung enthält, zum Maßstab den Nonius, dessen Null- oder Anfangspunkt genau in die zur Länge der Röhre a senkrechte Ebene fällt, in welcher die obern als Absehen dienenden Ränder 1, 1 der zwei Hülsespalten liegen. Um nun das genaue Maß des Barometerstandes zu erhalten, hat man, nachdem die Quecksilberoberfläche im Gefäße zum Anfangspunkt des Maßstabes (zur Berührung mit der Spitze des Stiftes t) gebracht worden, die Hülse u so zu stellen, daß die oberen Ränder 1, 1 ihrer Spalten und die Quecksilberkuppe in der Barometerröhre in einer und derselben Ebene liegen, und dann die Anzeigen des Nonius und Maßstabes abzulesen. Dieses Einstellen der Hülse geschieht näherungsweise durch Verschiebung mit der Hand, und zur genauen Einstellung dient eine Mikrometerschraube, die einen Theil der Hülse selbst ausmacht, und deren Kopf der ränderirte Ring i bildet.

Die eben beschriebene längst der Röhre a mit Reibung verschiebbare Hülse u ist auch häufig in der bei B Fig. 222 anschaulich gemachten Art eingerichtet. i ist der ränderirte Ring zur Handhabung der Mikrometerschraube (ganz so wie bei der Vorrichtung A); m, m sind an u festgemachte, in der vorderen und hinteren Längenspalte der Röhre a verschiebbare und an die Spaltenränder genau anpassende Metallplättchen, deren obere Ränder 2, 2 in einer und derselben auf der Röhre a senkrechten Ebene liegen und nach Art der Ränder 1, 1 an der Hülse in A als Absehen dienen. Das eine (das vordere) der Plättchen m, m ist zugleich der Nonius für den auf a verzeichneten Maßstab.

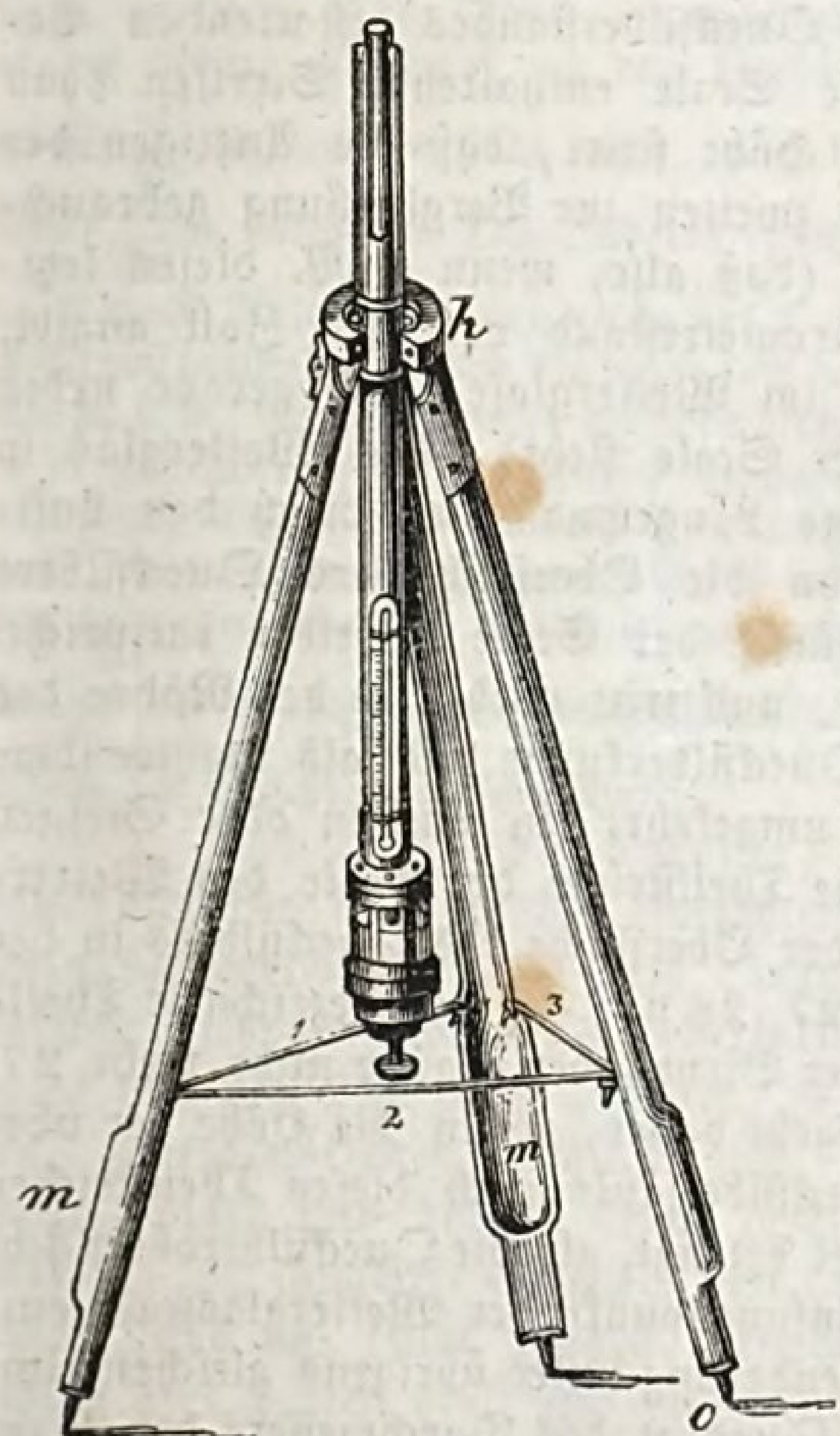
Fig. 222.



Barometer solcher (ursprünglich von Fortin herrührender) Construktion eignen sich sowohl ihres geringen Umfangs, als der guten Verwahrung der Barometerröhre wegen, sehr gut zum Gebrauche auf Reisen (als Reisebarometer) und zum Behuf von Höhenmessungen, indem sie ohne viele Umstände und bei einiger Vorsicht ohne Gefahr einer Beschädigung transportirt werden können, zu welchem Ende das Barometer, wie wir schon aus dem Vorhergehenden wissen, nur umgekehrt zu werden braucht, nachdem früher die vorerwähnte Oeffnung im Gefäßdeckel, welche der äußeren Luft den Zutritt ins Gefäß gestattet, mit dem betreffenden Schraubenstöpsel quecksilberdicht verschlossen worden. Um ja jede stärkere, der Barometerröhre gefährliche Erschütterung und Auf- und Abbewegung des Quecksilbers in dieser Röhre bei heftigeren Stößen, gegen welche sich das Instrument beim Transport, z. B. im Wagen, doch nicht immer ganz verwahren läßt, zu verhindern,

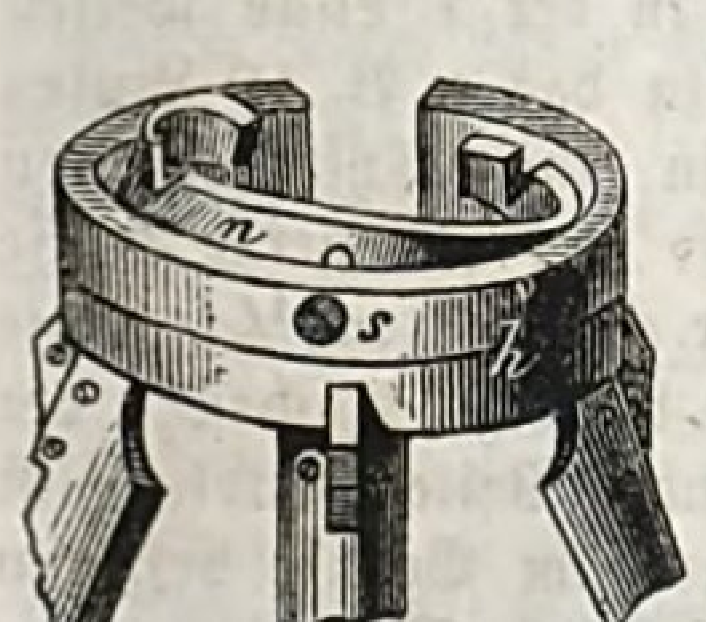
kann nach Umkehrung des Barometers dessen Bodenschraube w so weit einwärts gedreht werden, bis ihr abgerundeter Knopf k (Fig. 217) das Leder an das offene Ende v der Barometerröhre gerade innig sich anlegen macht. Zu diesem Behufe reicht dieses Ende schon etwas näher an den Boden des Quecksilbergefäßes (so weit dies nämlich mit der vorn S. 236 (†) ausgesprochenen Bedingung, daß das besagte Ende beim Umkehren des Barometers nie aus dem Quecksilber im Gefäße hervortrete, vereinbar ist), läuft konisch zu und hat einen ebenen Rand. Die Elasticität des Leders und eine mäßige, im Schraubenknopfe k angebrachte Vertiefung gestatten, daß bei zunehmender Temperatur — wo, wegen der im Verhältniß zum Glas viel stärkeren Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme, die Quecksilbersäule in der Röhre nicht mehr Platz hat — eine entsprechende Menge Quecksilbers aus der Röhre heraustritt, indem es das Leder in die Vertiefung des Knopfes hineindrückt und sich so zwischen dem Röhrenrand und dem Leder einen Durchgang öffnet. Geschähe dies nicht, so müßte das unaufhaltsam sich ausdehnende Quecksilber die Röhre zersprengen. Einen eben solchen Durchgang öffnet sich das Quecksilber aus dem Gefäße in die Röhre hinein, wenn in dieser bei abnehmender Temperatur die Quecksilbersäule sich zusammenzieht. In diesem Falle drückt nämlich das Quecksilber im Gefäße das Leder in die Vertiefung des Schraubenknopfes hinein und tritt um den so frei gewordenen Röhrenrand herum in die Röhre, um den darin durch Zusammenziehen der Quecksilbersäule entstandenen leeren Raum auszufüllen. Wenn dann das Instrument gebraucht werden soll, ist, noch bevor es in die gehörige, aufrechte Stellung umgekehrt wird, durch Zurückdrehen der Bodenschraube w die Oeffnung v der Barometerröhre frei zu machen.

Fig. 223.



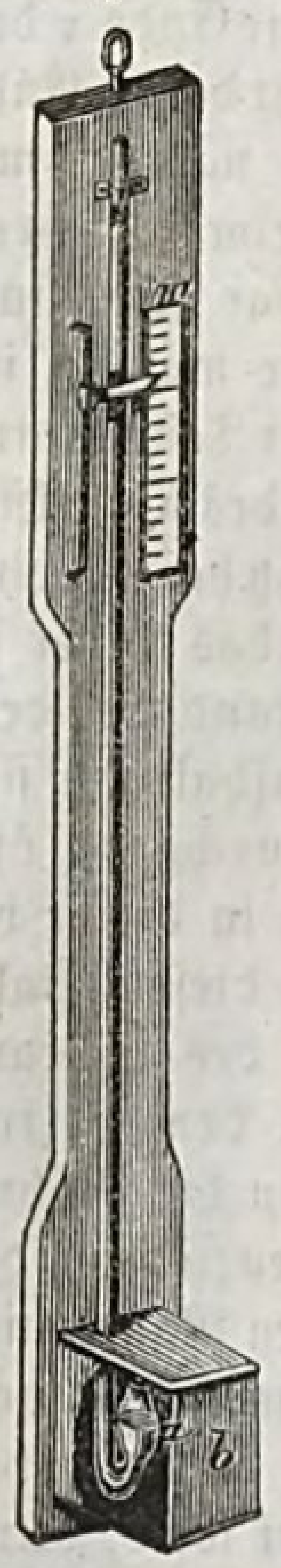
Da man auf Reisen und bei Höhenmessungen nicht an jedem Beobachtungsorte einen passenden Aufhängepunkt für das Barometer findet, so pflegt man demselben ein hölzernes Gestelle beizugeben, welches von drei auseinander spreizbaren, in Scharnieren beweglichen Füßen (Fig. 223) gebildet wird und, wenn die Füße zusammengelegt sind, als ein das Barometer wohl verwahrendes und bequemes Futteral von der Form eines etwa $1^1/_2$ Zoll dicken Stockes dient. Das Instrument wird in der Hülse h und zwar mittelst einer in der Mitte seiner Länge angebrachten horizontalen Axe x, x (Fig. 221) aufgehängt, die mit ihren Enden auf einen Metallring n ruhen, der sich in der Hülse h um einen horizontalen Zapfen s frei drehen kann. Durch diese Aufhängungsweise, welche im größeren Maßstabe durch Fig. 224 anschaulich gemacht ist, wird dem aufgehängten Barometer eine genau vertikale Stellung gesichert. Die Aushöhlungen m der Untertheile der Gestellfüße schließen beim Transport des Instrumentes das Quecksilbergefäß ein, auf die Hülse h ist dann eine messingene Kappe und auf das zweite Ende des Gestelles ein die Gestellsfüße zusammenhaltender Metallring aufgeschoben. Die Stäbe 1, 2, 3, die sich ein- und aushäkeln und nach dem Aushäkeln in Furchen der Füße versenken lassen, verhindern, daß diese weiter auseinandergehen; und die Spitzen o verhüten, daß das Gestelle rutscht.

Fig. 224.



Zu den Gefäßbarometern ist auch das gemeine Birn- oder Flaschenbarometer, auch Wetterglas genannt, zu zählen, welches am meisten verbreitet, ja beinahe zu einem nothwendigen Hausgeräthe geworden

Fig. 225.



ist. Dieses Barometer ist in Fig. 225 abgebildet und unterscheidet sich von dem in Fig. 215 dargestellten Gefäßbarometer dadurch, daß daran das birn- oder flaschenförmige Quecksilbergefäß a und die Röhre ein einziges Stück ausmachen, und daß dessen übrige Einrichtung keine genaue Messung der von dem Luftdrucke getragenen Quecksilbersäule gestattet. Eine solche Messung ist aber auch nicht die Bestimmung des Wetterglases; es ist vielmehr, wie schon der Name zeigt, dazu bestimmt, den Beobachter in den Stand zu setzen, aus den Veränderungen des Luftdruckes Schlüsse auf die wahrscheinlich bevorstehenden Witterungsverhältnisse ziehen zu können, wozu es keiner ganz genauen Kenntniß der Größe des Luftdruckes bedarf. Man schätzt bei diesem Instrumente die Luftdrucksveränderungen mittelst einer kurzen, auf einem Papier- oder Metallstreifen verzeichneten Längen- (z. B. Zoll-) Scale m, die auf dem Brete, welches die Röhre sammt dem Gefäße trägt, der ersteren zur Seite und parallel befestigt ist. Zum Behufe dieser Befestigung der Scale am gehörigen Orte wird bei vertikaler Stellung des Instrumentes der Stand des Quecksilbers in der Röhre mit jenem in einem andern, eine genaue Messung des Quecksilberstandes gestattenden Barometers verglichen und der die Scale enthaltende Streifen dann auf dem Brete in einer solchen Höhe fixirt, daß die Anzeigen der Scale des Wetterglases und des zweiten zur Vergleichung gebrauchten Barometers übereinstimmen (daß also, wenn z. B. dieses letztgenannte Instrument einen Barometerstand von 28 Zoll angibt, die Kuppe der Quecksilbersäule im Wetterglase auch gerade neben dem mit 28 Zoll bezeichneten Theilstrich der Scale steht), das Wetterglas in diesem Augenblick also ebenfalls das richtige Längenmaß der durch den Luftdruck getragenen Quecksilbersäule anzeigt, da die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße des Wetterglases dem Anfangspunkt der Scale desselben entspricht. Nimmt aber nachher der Luftdruck zu oder ab, und tritt mithin in der Röhre des Wetterglases ein Steigen oder Sinken der Quecksilberkuppe und als nothwendige Folge hiervon im Birn- oder Flaschengefäße umgekehrt ein Sinken oder Steigen der Quecksilberoberfläche ein, so haben jetzt die Theilstriche der Scale des Wetterglases nicht mehr den nämlichen Abstand von der Oberfläche des Quecksilbers in der Birne oder Flasche wie vorher (d. h. der mit 27, 28 u. s. w. Zoll bezeichnete Theilstrich steht von der Quecksilberoberfläche in der Birne oder Flasche nicht mehr 27, 28 u. s. w. Zoll ab, wie vorher) und man begeht daher, wenn die Höhe der über der zuletzt besagten Oberfläche erhobenen Quecksilbersäule nach diesen Theilstrichen gemessen wird, einen Fehler, der gerade so viel beträgt, als die Quecksilberoberfläche im Gefäße ihren vorigen (normalen, den Anfangspunkt der Wetterglasscale entsprechenden) Stand geändert hat. Da diese Aenderung unter übrigens gleichen Umständen desto weniger beträgt, je größer das Quadrat des Durchmessers der Birne oder Flasche (dort, wo die Quecksilberoberfläche spielt) gegen das Quadrat des Durchmessers der Röhre ist [wenn z. B. das Quecksilber in der 1 Linie weiten Röhre um zwei Linien sinkt, so wird der aus der Röhre in das z. B. 10 Linien weite Gefäß heraustretende Quecksilbercylinder daselbst in einen Cylinder von $10^2 = 100$mal größerer Grundfläche, daher von eben so oft mal geringerer Höhe verwandelt, so daß die Quecksilberoberfläche im Gefäße nur ein $^2/_{100} = {}^1/_{50}$ Linie steigt... (†)], so gibt man, um den besagten Fehler recht klein zu machen, der Birne oder Flasche im Verhältniß zur Röhre eine bedeutende Weite. Endlich ist nur noch zu erwähnen, daß die besagte Birne oder Flasche zum Behufe besseren Schutzes gegen das Anstoßen u. s. w. auf aus der Fig. 225 ersichtliche Weise in einem

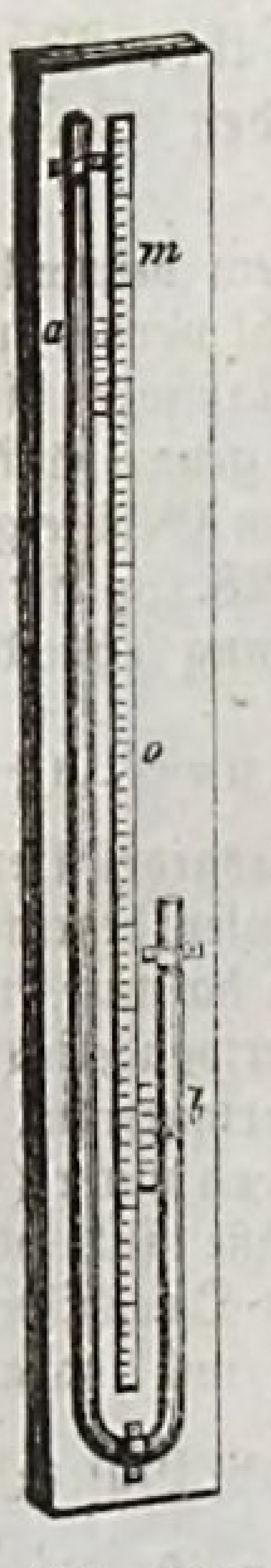
an dem Barometerbrete eingehäkelten Kästchen eingeschlossen, und daß, um die Verunreinigung des Quecksilbers darin durch Staub und dgl. zu verhüten, ihre Mündung oder ihr Hals mit einem zwar staub-, aber nicht luftdicht passenden Stöpsel verschlossen ist.

Aus demselben Grunde wie beim Birnbarometer wäre auch bei den vor diesem besprochenen andern Gefäßbarometern der beobachtete Barometerstand fehlerhaft, wenn nicht vorher immer die Quecksilberoberfläche im Gefäße an den Anfangspunkt (Nullpunkt) des Maßstabes eingestellt würde. Vorausgesetzt, bei einem Gefäßbarometer sei das Gefäß innerlich genau cylindrisch, es sei ferner die Einrichtung so getroffen, daß die Quecksilberoberfläche im Gefäße gerade an dem Nullpunkte des Maßstabes steht, wenn jene in der Röhre mit dem 28. Zollstrich des Maßstabes zusammenfällt; so erhält man den Fehler f, der bei jeder Beobachtung ohne der besagten Einstellung an den Nullpunkt begangen wird, leicht mittelst der Formel $\frac{d^2}{D^2} \cdot n = f$..(++) in welcher d und D die (als vorläufig ermittelt vorausgesetzten und in Linien ausgedrückten) Durchmesser der Röhre und des Gefäßes des Barometers und n die Anzahl Linien bedeutet, um welche das Quecksilber in der Röhre über oder unter 28 Zoll steht, und man hat nur, um den unmittelbar beobachteten, fehlerhaften Barometerstand in den richtigen zu verwandeln (zu corrigiren), ersteren um den berechneten Werth von f zu vermehren oder zu vermindern, je nachdem er mehr oder weniger als 28 Zoll beträgt. Denn offenbar steht aus dem vorn unter (+) angegebenen Grunde die Höhe h der Säule, um welche das Quecksilber im Gefäße sinkt oder steigt, zur Höhe H der Säule, um welche gleichzeitig das Steigen oder Sinken des Quecksilbers in der Röhre stattfindet, in dem Verhältnisse $d^2 : D^2$, so daß $h : H = d^2 : D^2$ und daraus $h = H \cdot \frac{d^2}{D^2}$ ist, und es stellt daher, wenn H, wie n in der Formel (++), die Anzahl Linien bedeutet, um welche die Quecksilberoberfläche in der Röhre über 28 Zoll gestiegen ist, $H \cdot \frac{d^2}{D^2}$ die Anzahl Linien vor, um welche das Quecksilber im Gefäße gleichzeitig unter den Maßstabs-Nullpunkt gesunken ist, und die daher zum beobachteten Barometerstand noch hinzu zu zählen kommen u. s. w. Gefäßbarometer der eben beschriebenen Art, wie sie L. Kappeller hier in Wien in vorzüglicher, ganz verläßlicher Beschaffenheit liefert, unterscheiden sich in der äußeren Form von einem Gefäßbarometer nach Fortin'scher Einrichtung nur darin, daß sie ein undurchsichtiges, metallenes oder hölzernes Gefäß mit festem anstatt mit beweglichem Boden haben, kommen deswegen bedeutend wohlfeiler und gestatten doch sehr genaue Beobachtungen. Der zur Correction der beobachteten Barometerstände nöthige Quotient $\frac{d^2}{D^2}$ findet sich immer auf der äußeren Fläche des Gefäßbodens verzeichnet.

2. Das Heberbarometer, wie die Folge zeigen wird, unstreitig das vollkommenste aller bisher betrachteten Barometer, unterscheidet sich von einem Gefäßbarometer dadurch, daß daran die Stelle des Quecksilbergefäßes durch das aufwärtsgebogene Stück der heberförmigen Barometerröhre ersetzt ist. Die Röhre ist dann wie Fig. 226 zeigt gestaltet, so daß der kürzere, offene Schenkel dem längeren, zugeschmolzenen parallel läuft, und ist mittelst Klammern auf einem entsprechend langen und breiten Brete befestigt. Der senkrechte Abstand der Quecksilberkuppe a im längeren Schenkel von der Kuppe b im kürzeren zeigt die Größe des Luftdruckes an. Zum Messen derselben dient ein schmaler messingener Maßstab m (etwa drei Linien breit und eine Linie dick), welcher, der Barometerröhre parallel und zwischen den Schenkeln derselben, auf dem Brete befestigt ist. Diese Befestigung findet, damit der Maßstab in der Wärme sich frei ausdehnen kann, nur im Mittelpunkt seiner Länge statt und dieser Punkt bildet zugleich den Null- oder Anfangspunkt der Theilung, so daß von diesem Punkte aus nach aufwärts bis zur Kuppe a und nach abwärts bis zur Kuppe b gezählt wird *).

*) Manchmal findet man den messingenen Maßstab dadurch ersetzt, daß die Theilung in der nämlichen Art, wie bei dem besagten Maßstab, auf der Glasröhre selbst eingerissen ist. Diese Einrichtung ist jedoch unsicher; denn das Einreißen der Theilstriche geschieht während die Röhre liegt und leer ist; wird sie hernach mit Quecksilber gefüllt, und in die aufrechte Stellung gebracht, so rücken, da die elastische Röhre durch das Gewicht des Quecksilbers gedehnt wird, die Theilstriche weiter auseinander.

Fig. 226.



Das Ablesen des Quecksilberstandes, sowohl im längeren als im kürzeren Schenkel, geschieht mittelst Nonien, die an der untern und obern Hälfte des Maßstabes verschiebbar und mit entsprechenden, als Zeiger dienenden Absehen (S. 235) versehen sind. Bei feinen Theilungen wird das Auge durch mit den Nonien vereinigte Mikroskope bewaffnet und in diesem Falle zugleich dem Auge durch das Fadenkreuz im Mikroskope der Platz angewiesen. Damit aber nicht der untere Zeiger nach der einen und der obere nach der entgegengesetzten Seite vom Maßstabe absteht, wie dies bei einer gewöhnlichen heberförmig gebogenen Röhre (Fig. 226) immer der Fall sein muß, so lange der Maßstab nicht außerhalb der beiden Röhrenschenkel angebracht wird, (was wegen des daraus folgenden zu großen Abstandes der einen Quecksilberkuppe von demselben nicht angeht), und wodurch, wenn beide Zeiger nicht genau parallel gerichtet sind (was unter diesen Umständen schwer zu erreichen und noch schwieriger zu controliren ist), nothwendig ein constanter Fehler bei der Messung des Luftdruckes verursacht würde, so gibt man, dem Beispiele Gay-Lussac's folgend, der Barometerröhre die in Fig. 227 dargestellte Gestalt. Bei einer solchen Röhre stehen, wenn sie sich in vertikaler Stellung befindet, beide Quecksilberoberflächen (die obere und untere) senkrecht unter einander, man kann daher (wie in Fig. 227) den Maßstab möglichst nahe an beide Oberflächen bringen und es sind die erwähnten beweglichen Zeiger nach der nämlichen Seite des Maßstabes gewendet, wodurch das genaue Richten derselben, so wie die Prüfung ihrer richtigen Stellung ungemein erleichtert wird.

Fig. 227.

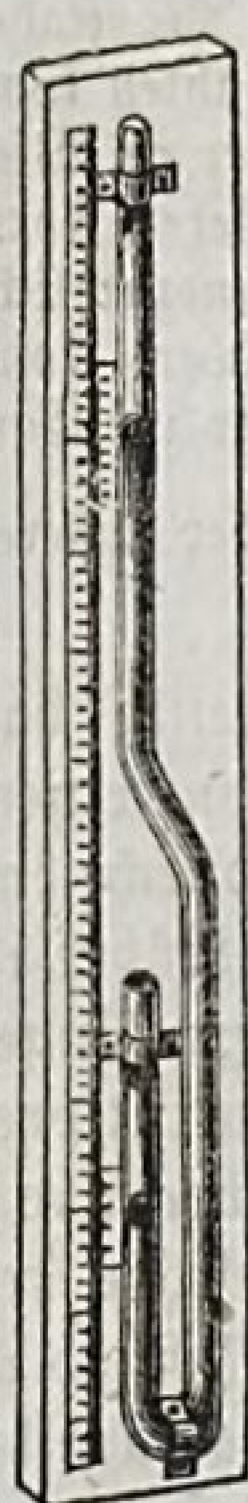
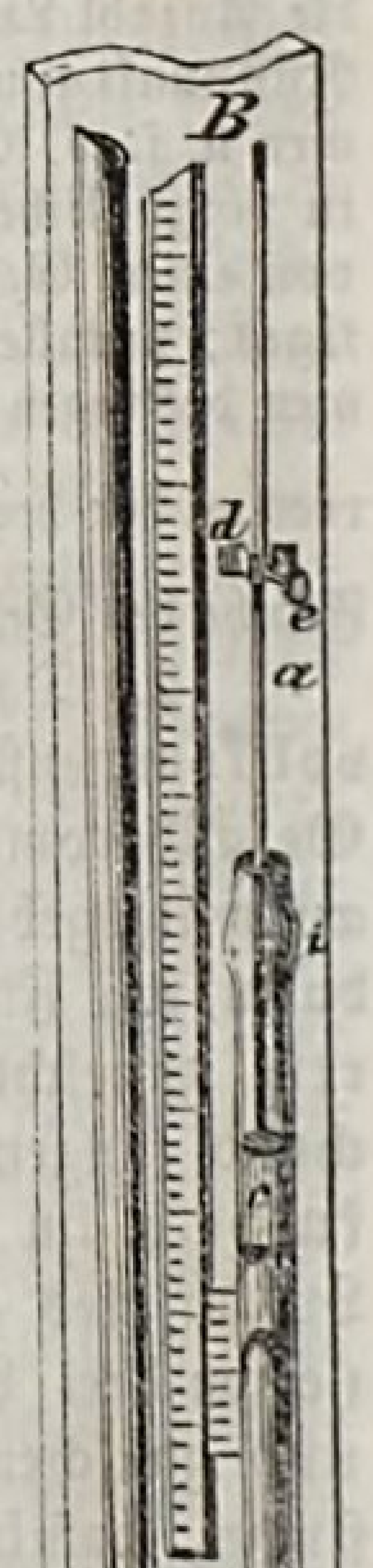


Fig. 228.



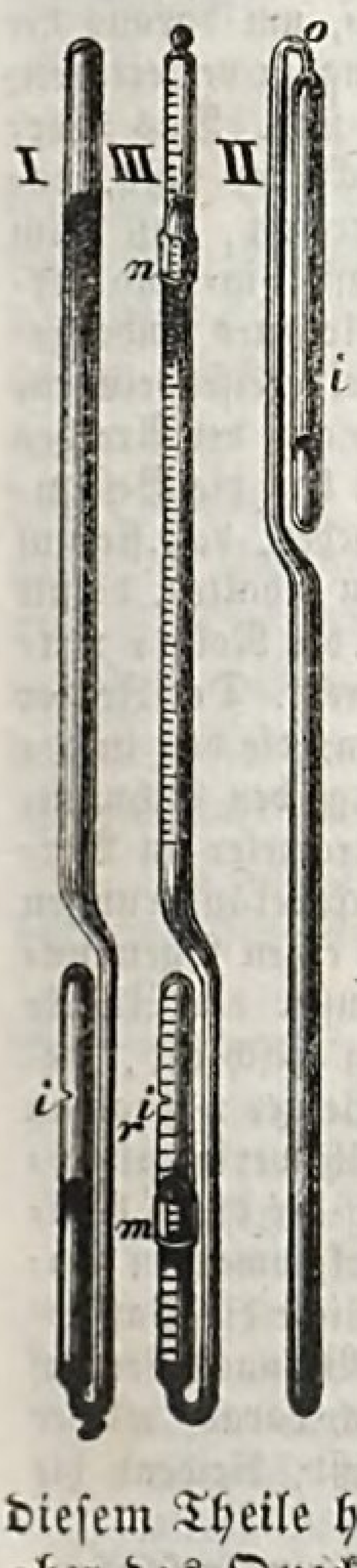
Damit es anstatt des doppelten Ablesens auf dem Maßstabe, nämlich beim untern und beim obern Quecksilberspiegel in der Röhre, nur einer einzigen Ablesung bedarf, wird der Maßstab auch oft beweglich gemacht, so daß er sich, wie bei dem in Fig. 215 dargestellten Gefäßbarometer, mittelst eines in Zähne eingreifenden Getriebes der Röhre parallel auf und nieder bewegen läßt. Man hat dann nur seinen, an das untere Ende fallenden Anfangspunkt mittelst eines daselbst angebrachten Absehens genau bei der Quecksilberkuppe im kürzeren Schenkel einzustellen und mit Hilfe des an seinem Obertheil verschiebbaren Nonius (mit Absehen) den Abstand der beiden Quecksilberkuppen in der Röhre zu messen.

Um das Heberbarometer leicht und sicher transportabel zu machen, wo es sich dann seiner Güte und seines geringen Gewichtes und Umfanges wegen vorzugsweise als Reisebarometer und Höhenmeßinstrument eignet, darf es nur mit einer passenden Vorrichtung zum Absperren des Quecksilbers im kürzeren Röhrenschenkel versehen werden. Diese Vorrichtung besteht (wie man in Fig. 228, ein Heberbarometer mit beweglichem Maßstab darstellend, sieht) aus einem Stängelchen **a** von Fischbein, das am untern Ende einen elastischen Pfropf **c** (z. B. aus an der Oberfläche mit ungedrehter Seide vielfach umwickelten Kork) trägt, der, in den kürzeren Röhrenschenkel eingeschoben, diesen Schenkel quecksilberdicht absperrt; der Obertheil von **a** geht durch eine am Brete **B** befestigte Hülse **d**, worin er sich mittelst der Stellschraube **e** einklemmen läßt. Wird nun das Barometer geneigt, bis das Quecksilber an das obere Ende der Röhre gestiegen ist,

man schiebt dann den Pfropf c so weit in den kurzen Röhrenschenkel ein, daß er auf der nun nahe an die Krümmung der Röhre getretenen Quecksilberoberfläche in diesem Schenkel aufsteht und klemmt hierauf das Stängelchen a durch die Schraube e ein, so ist das Quecksilber im Barometer unbeweglich abgesperrt, und dieses kann in umgekehrter Stellung sehr leicht transportirt werden. Soll es gebraucht werden, so gibt man ihm wieder (wenigstens nahe) die Stellung, die es beim Absperren hatte, zieht den Pfropf langsam und vorsichtig aus der Röhre heraus und bringt nachher erst das Instrument allmälig in die vertikale Lage. Da es nun manchmal geschieht, daß während des Transportes etwas Quecksilber am Untertheil des Pfropfes zwischen diesen und die Wand der Röhre eindringt, so gibt man, damit dieses Quecksilber nicht mit dem Pfropf aus der Röhre gezogen und verstreut werde, dem kürzeren Schenkel dieser letzteren etwas unter seinem Ende eine kleine Ausbauchung i, welche der mit dem Pfropfe in die Höhe gezogenen Quecksilbermenge in die Röhre zurückzufallen gestattet, bevor der Pfropf aus ihr heraustritt. Die beschriebene Sperrvorrichtung läßt sich natürlich auch in dem Falle anbringen, wo die Barometerröhre wie in Fig. 227 gebogen ist; nur muß das Fischbeinstängelchen dann noch durch eine zweite Hülse, die in vertikaler Richtung etwas unter der ersten angebracht ist, durchgehen, damit man dasselbe beim Einschieben des Pfropfes in die Röhre (oder beim Herausziehen) aus der Ebene der Röhre herausbiegen und so der Krümmung dieser letzteren ausweichen kann, ohne daß der Pfropf aus seiner vertikalen in eine der Röhre gefährliche schiefe Stellung zu treten vermag.

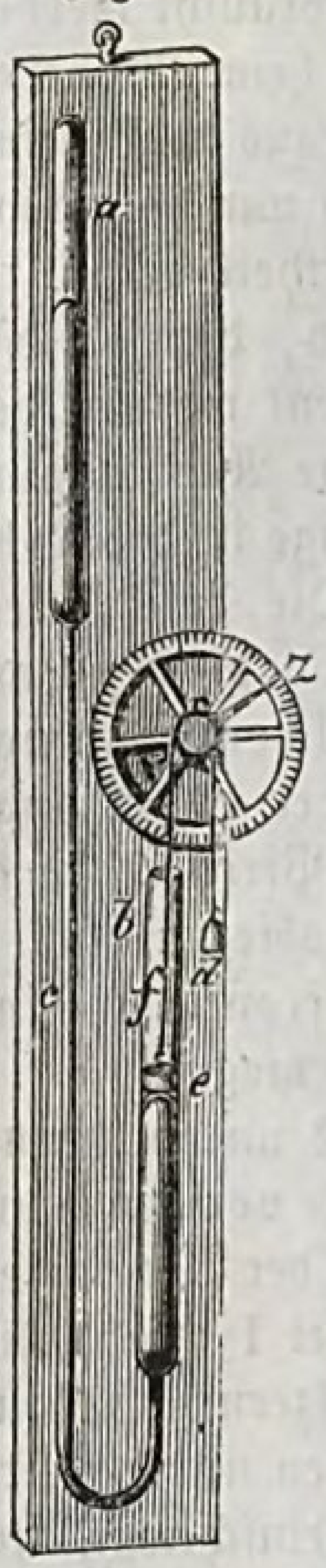
Man erspart aber die ganze Sperrvorrichtung, erhält ein gutes und bequemes Reisebarometer von noch viel geringerem Gewicht und Umfang als die vorigen, und erreicht noch überdies andere (später erwähnte) Vortheile, wenn man der Barometerröhre die ebenfalls von Gay-Lussac herrührende, in Fig. 229 bei I anschaulich gemachte Einrichtung gibt, und dieselbe mit einem hölzernen Gehäuse versieht, welches von dem in der Fig. 220 dargestellten nur dadurch sich unterscheidet, daß es das ganze Barometerrohr einschließt, und nicht blos im obern, sondern auch im untern Theile an der vordern und hintern Fläche Spalten hat, um mittelst darin (in den zwei vordern Spalten nämlich) verschiebbarer Nonien mit Absehen den Stand der Quecksilberoberflächen im obern und untern Röhrenschenkel ablesen zu können. Die beiden Schenkel der Röhre sind durch ein angeschmolzenes dünnes Glasrohr r von der Beschaffenheit einer etwas weitern Thermometerröhre vereinigt; es ist auch der kürzere Schenkel zugeschmolzen und hat (etwa um ⅓ seiner Länge vom Ende entfernt) eine haarfeine Oeffnung i, welche wohl die Luft eindringen, aber kein Quecksilber heraus läßt. Soll das Barometer transportirt werden, so neigt man es allmälig, bis der längere Schenkel ganz mit Quecksilber angefüllt ist und kehrt es hierauf um. Dabei bleibt der lange Schenkel bis an die Stelle o, wo das dünne Rohr mit dem kurzen Schenkel zusammenhängt, angefüllt und das in diesem Schenkel noch zurückgebliebene wenige Quecksilber fällt an dessen geschlossenes Ende, und wird da zurückgehalten, wie man in Fig. 229 bei II sieht. Da das Quecksilber an der Stelle o schon allein durch die Capillardepression, die es daselbst erfährt, die Krümmung o zu verlassen und an das Ende des kürzeren Schenkels herabzufallen verhindert wird, so bedarf es hiezu nicht erst eines Pfropfes, wie in den Fällen, wo auch der gekrümmte Theil der Barometerröhre weit, also keine zum Zurückhalten des Quecksilbers in diesem Theile hinreichende Depression vorhanden ist. Die besagte Krümmung o darf aber das Quecksilber nicht verlassen, weil sonst die an dessen Stelle getretene Luft beim Umkehren des Instrumentes in die aufrechte Stellung I durch den langen

Fig. 229.



Schenkel der Röhre in die Torricelli'sche Leere emporsteigen würde. Das Instrument ist in der Stellung **II** sehr gut transportabel und darf, wenn es gebraucht werden soll, nur vorsichtig wieder in die aufrechte Stellung **I** zurückgebracht werden. Die von Kappeller in Wien verfertigten Instrumente dieser Art sind sammt dem (prismatischen) Holzgehäuse nur 7/8″ breit und 6/8″ dick und behufs bequemer und sicherer Transportirung in einem steifen Lederfutteral mit Umhängriemen eingeschlossen. Ist in der bei **III** Fig. 229 ersichtlichen Weise die Maßstabstheilung auf dem Barometerrohre selbst aufgetragen und dienen zwei der Länge nach aufgeschlitzte und auf den Röhrenschenkeln mit mäßiger Reibung verschiebbare und eine entsprechende Theilung enthaltende metallene Hülsen m, n als Nonien und Absehen, so fällt auch das oben erwähnte hölzerne Gehäuse weg. Zum Behuf der Beobachtung läßt sich das so möglichst compendiöse Barometer mittelst einer Schnur, die an dem am obern Röhrenende vorhandenen Knopfe festgemacht ist, vertikal aufhängen. In einer hölzernen, innerlich ausgefütterten, mit einem Deckel verschließbaren Büchse, in welche es in umgekehrter Stellung eingeschoben wird und die nur die Dimensionen eines etwas dickeren Spazierstockes zu haben braucht, läßt es sich gegen Beschädigung vollkommen geschützt und bequem transportiren.

Fig. 230.



Es ist hier noch ein modificirtes Heberbarometer zu erwähnen, welches den Namen Radbarometer führt und in Fig. 230 abgebildet ist. Es besteht bei demselben die Röhre aus zwei weiteren wohl kalibrirten, durch eine engere Röhre c verbundenen Stücken a, b, deren Durchmesser gleich und mindestens sechs Linien groß sind. Man setzt die Röhre aus diesen Theilen zusammen, weil es außerordentlich schwer wäre, ein einziges Röhrenstück von hinreichender Länge und Weite zu finden, um daraus die ganze Barometerröhre unter Erfüllung auch der Bedingung zu verfertigen, daß ihre beiden Schenkel kalibrirt und ganz gleich weit sind. Das Verbindungsstück c macht man aber eng, damit das Instrument weniger Quecksilber faßt, daher ein geringeres Gewicht hat, und weniger kostet. Zugleich wird dadurch erreicht, daß beim Uebertragen des Barometers das Quecksilber darin nicht so leicht in ganzer Masse hin- und herschwanken kann, was der Röhre durch einen plötzlichen Stoß gegen ihr geschlossenes Ende gefährlich werden könnte. Auf dem Quecksilber im kürzeren Schenkel schwimmt eine elfenbeinerne oder eiserne Scheibe e, von der ein Faden f um eine kleine Rolle r geht, die auf der Axe des Zeigers z festgemacht ist. Das am Ende des Fadens f hängende Gewichtchen d hat die Bestimmung, die Scheibe e nahe zu äquilibriren (das Gewicht dieser Scheibe so aufzuheben, daß sie auf die Oberfläche des Quecksilbers keinen Druck übt) und den Faden stets gespannt zu erhalten, damit er beim Steigen und Sinken des Quecksilbers und somit auch dieser Scheibe die Rolle r mitnimmt und den Zeiger entsprechend nach der einen und der andern Seite hin dreht. Der Zeiger gibt hiebei auf einem entsprechend getheilten Zifferblatte die Zolle und Linien an, die den in der Größe des Luftdruckes stattfindenden Veränderungen entsprechen. Die Einrichtung, den Schwimmer und den durch ihn in Bewegung gesetzten Zeiger betreffend, macht das Barometer in Verbindung noch mit einem andern passenden Mechanismus geeignet, die Luftdrucksveränderungen nicht blos anzuzeigen, sondern auch aufzuzeichnen (zu registriren), wo es dann einen sogenannten Barometrographen darstellt, dessen detaillirte Beschreibung jedoch außer dem Zwecke dieses Handbuches liegt. Um jedoch von der Art, wie die besagte Registrirung geschieht, wenigstens im Allgemeinen eine Vorstellung zu bekommen, denke man sich, der Zeiger z trage an seinem Ende einen kleinen, feinen Bleistift, an dessen Spitze mit Hilfe eines Uhrwerkes gleichförmig und in horizontaler Richtung eine Papierfläche vorbeibewegt wird, auf der durch horizontale Striche die Zolle und Linien verzeichnet sind, innerhalb welche die vorkommenden Barometerstands-Veränderungen immer hineinfallen. Wird ferner durch das nämliche die Papierfläche in Bewegung setzende Uhrwerk der federnde Zeiger mit dem Bleistift, z. B. nach Verlauf einer jeden Stunde einen Augenblick an diese Papierfläche angedrückt, und gleich darauf wieder freigelassen, so zeigen die Punkte, die der Bleistift auf dem Papier zurückläßt, bleibend die Barometerstände an, die von Stunde zu Stunde stattgefunden haben.

Zum Schlusse endlich soll noch des Barometre aneroide von Vidi Erwähnung geschehen,

welches der Hauptsache nach aus einer dosenartigen, luftleer gemachten Metallbüchse besteht, deren Deckel (obere Fläche) so dünn ist, daß er dem atmosphärischen Druck nachgibt und sich dem Boden (der untern Fläche) nähert oder davon entfernt, je nachdem dieser Druck zu- oder abnimmt. Dabei setzt er (der Deckel) einen Zeiger in Bewegung, dessen Gang auf einer empirisch (durch Vergleichung des in Rede stehenden Barometers mit einem gewöhnlichen) ermittelten Kreistheilung angegeben wird. Nach Poggendorff ist ein solches Barometer in allen Fällen, wo keine größere Genauigkeit der Ablesung als 1/4''' verlangt wird, ein ganz brauchbares Instrument. Es gleicht der Form nach ganz einer großen Taschenuhr und ist daher sehr leicht transportabel; Temperaturveränderungen haben auf seinen Gang keinen merklichen Einfluß.

127. Weitere Bedingungen der Güte und Richtigkeit der Barometer und daraus folgende Vorsichtsmaßregeln bei Verfertigung derselben. Die erste Bedingung, damit die Höhe der Quecksilbersäule in einem Barometer als richtiges Maß des Luftdruckes angesehen werden könne, ist, daß über derselben, in der sogenannten Torricelli'sche Leere nämlich, keine Luft und keine Feuchtigkeit enthalten sei, weil diese sonst durch ihre Ausdehnsamkeit dem äußeren Luftdrucke entgegen wirken und machen, daß die durch denselben getragene Quecksilbersäule kürzer ausfällt, als wenn keine solche Gegenwirkung stattfände, die äußere Luft also ihren vollen Druck üben könnte. Es enthält aber das Quecksilber zu Folge Absorbtion (**22**) in seinen Poren immer Luft, wenn es mit dieser einige Zeit in Berührung gestanden ist; ferner adhärirt die Luft, und die in ihr stets vorhandene Feuchtigkeit sehr stark dem Glase, und es ist daher die zur Verfertigung eines Barometers zu verwendende Röhre an ihrer inneren Fläche immer mit einer Luft- und Feuchtigkeitsschichte überzogen, welche auch beim Einfüllen des Quecksilbers fest haften bleibt. Würde nun die Barometerröhre, nachdem sie mit Quecksilber ganz angefüllt worden, umgekehrt, so daß ihr geschlossenes Ende nach aufwärts gewendet ist, während ihr offenes Ende unter Quecksilber taucht und dieses vom geschlossenen Ende herabsinkt, so müßte sowohl die Luft und Feuchtigkeit, die dem Theil der Röhrenwand adhärirt, welcher die Torricellische Leere einschließt, als auch ein Theil der von dem Quecksilber absorbirten Luft und Feuchtigkeit in die Torricelli'sche Leere treten*), und das Barometer gäbe aus dem vorher angeführten Grunde kein richtiges Maß des Luftdruckes. Um nun diesen Grund der Unrichtigkeit zu beseitigen, muß die Barometerröhre, nachdem sie mit Quecksilber gefüllt worden und bevor sie umgekehrt wird, vom unteren, geschlossenen Ende angefangen, allmälig der ganzen Länge nach über Kohlenfeuer oder in der Flamme einer Weingeistlampe mit doppeltem Luftzuge so stark erhitzt werden, daß das Quecksilber zum Sieden kömmt, damit hiedurch die Luft und die Feuchtigkeit ausgetrieben wird**). Zu vollständiger Vertreibung der Luft und Feuchtigkeit ist eine mehrmalige Wiederholung dieses Auskochens der Barometerröhre und eine gehörige Uebung hierin nöthig; auch ist dabei unter andern wohl dafür zu sorgen, daß sich kein Quecksilberoxyd bildet, da dieses dem Quecksilber die Eigenschaft gibt, an dem Glase hängen zu bleiben.

In neuester Zeit wurde in Vorschlag gebracht, das Auskochen des Quecksilbers in der Röhre ganz zu unterlassen, dafür diese unmittelbar vor dem Einfüllen

---

*) So lange die vom Quecksilber absorbirte und dem Glase adhärirende Luft und Feuchtigkeit die unmittelbare Einwirkung des äußeren Luftdruckes erfährt, hindert dieser ihre Entfernung aus dem Quecksilber und vom Glase. In der Torricelli'schen Leere ist dieses Hinderniß natürlich nicht vorhanden.

**) Theils steigen beide, weil sie durch die Hitze ausdehnsamer und im Verhältniß zum Quecksilber noch mehr spezifisch leichter werden, von selbst in Luftblasen durch das Quecksilber empor, theils werden sie von den beim Sieden des Quecksilbers sich bildenden Quecksilberdämpfen immer von der Stelle, wo das Quecksilber gerade siedet, zu der nächst höheren und so nach und nach durch die ganze Röhre empor mechanisch mit fortgerissen.

des Quecksilbers auf das sorgfältigste zu reinigen, auszutrocken und zu erhitzen und während dem Erhitzen mittelst eines engen, bis an ihr geschlossenes Ende reichenden Trichters das Quecksilber, welches ebenfalls bis zum Sieden (am besten in einer Atmosphäre von Kohlensäure, wo die Bildung von Quecksilberoxyd verhindert wird) erhitzt worden, noch warm einzufüllen...(†). Es gelingt so bei einiger Uebung in der That, das Barometer fast eben so gut von Luft und Feuchtigkeit zu befreien, wie durch das sorgfältigste Auskochen in oben angegebener Art.

Mohr empfiehlt die Barometer, anstatt durch das immer gefährliche, unangenehme und zeitraubende Auskochen, mittelst der Luftpumpe (**132**) luftleer zu machen, und beobachtet dabei folgendes in wenigen Minuten leicht und vollkommen zum Ziele führendes Verfahren. Auf dem Teller der Luftpumpe wird ein Trichter mit dem gut geschliffenen Rande seiner Erweiterung luftdicht aufgesetzt, an seinen Hals wird mittelst eines guten Kautschukröhrenstückes das eine, abwärts gebogene Ende einer horizontalen Bleiröhre befestigt und das zweite, ebenfalls abwärts gebogene Ende dieser Röhre wird mit einem Korke in eine etwa 14‴ weite und 5—6″ lange Glasröhre (R) dicht eingepaßt, welche in vertikaler Stellung von einem Stative getragen wird, und deren unteres Ende wieder mit einem Korke eine gegen den Horizont geneigte enge Glasröhre eingepaßt enthält, an welche nun mittelst einer Kautschukröhre das luftleer zu machende Barometer ebenfalls in geneigter Lage (natürlich so, daß sein geschlossenes Ende die unterste Stelle einnimmt) befestigt wird, bei welchem (am besten) in der oben unter (†) beschriebenen Weise das Quecksilber eingefüllt worden. Setzt man dann die Luftpumpe in Thätigkeit, so steigt die im Quecksilber gebliebene Luft darin in stark anschwellenden Luftblasen in die Höhe, wenn das Aufsteigen der Luftblasen aufhört, stellt man ein möglichst vollkommenes Vacuum her und fängt an, die Barometerröhre leise zu schütteln, gerade so, wie man es beim Auskochen des Barometers ebenfalls zu thun pflegt. Man bemerkt dabei ein hartes Prellen und Klicken des Quecksilbers gegen das Glas und es erscheinen große Luftblasen an allen Stellen, wo früher die kleinen Luftbläschen sitzen geblieben sind. Durch wiederholtes Schütteln bringt man so die kleinsten Luftbläschen zum Aufwärtssteigen. Einzelne sehr kleine Bläschen, welche allein nicht Steigkraft genug besitzen, vereinigt man zu einer größeren Blase, indem man das geschlossene Röhrenende in die Höhe hebt, wobei sich das Quecksilber in die oben mit R bezeichnete weitere Glasröhre ergießt und in der Barometerröhre ein Vacuum entsteht, welches nun alle jene kleinen Luftbläschen aufnimmt und zu einer größern Blase vereinigt, die man dann nach vorsichtigem Zurückbringen des geschlossenen Endes der Barometerröhre in ihre ursprüngliche untere Stellung durch die nämliche Manipulation herausbringt, wie die andern größern Blasen.

Man hat früher eine ebene Quecksilberoberfläche in der Torricelli'schen Leere als ein sicheres Zeichen der gänzlichen Abwesenheit von Luft und Feuchtigkeit im Barometer angesehen, sich aber durch neuere Versuche überzeugt, daß diese Voraussetzung unrichtig und das Verschwinden der Quecksilberkuppe immer nur Folge der Anwesenheit von etwas Quecksilberoxyd sei, welches sich beim Auskochen des Quecksilbers gebildet hat und in diesem aufgelöst enthalten ist.

Wurde das Barometer auf die beschriebene Weise auch noch so vollkommen luft- und feuchtigkeitsfrei gemacht, so verbleibt es nicht in diesem Zustande. Das Quecksilber absorbirt nämlich an der mit der Luft in Berührung stehenden Oberfläche (im Gefäße, im kürzern Schenkel der heberförmigen Barometerröhre u. s. w.) bald wieder Luft, diese dringt von der besagten Oberfläche aus allmälig immer weiter in das Quecksilber hinein und gelangt so endlich durch die ganze Quecksilbersäule bis in die Torricelli'sche Leere. Es müssen daher die Barometer, um fortwährend ihrer Güte versichert sein zu können, von Zeit zu Zeit immer wieder von Neuem ausgekocht werden.

Auch indem man ein Barometer, das, um es zu transportiren, abgesperrt und umgekehrt worden, wieder aufrichtet und durch Aufheben der Sperrung in den zur Beobachtung geeigneten Stand versetzt, kann bei nicht gehöriger Vorsicht leicht etwas Luft in die Barometerröhre gelangen und darin bis in die Torricelli'sche Leere emporsteigen. Um letzteres zu verhüten, braucht man nur, wie Fig. 231 bei einem Heberbarometer anschaulich macht, die Barometerröhre aus zwei Stücken a, b zusammenzuschmelzen, wovon das eine a vorher am untern Ende zu einem feinen Röhrchen (Haarröhrchen) ausgezogen wurde, welches nach dem Zusammen-

Fig. 231.

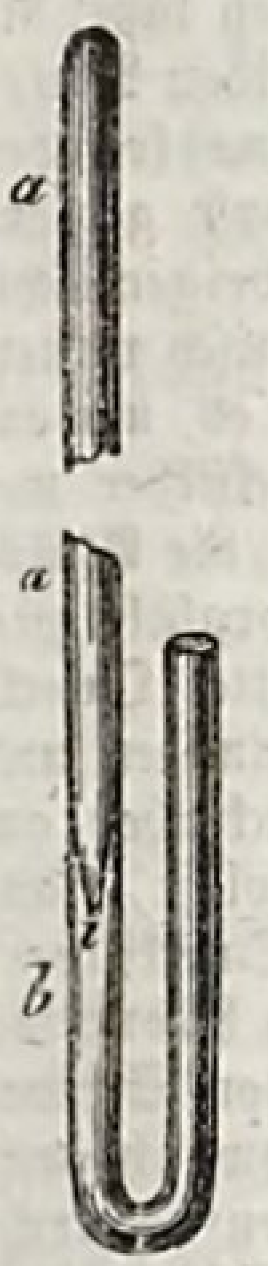
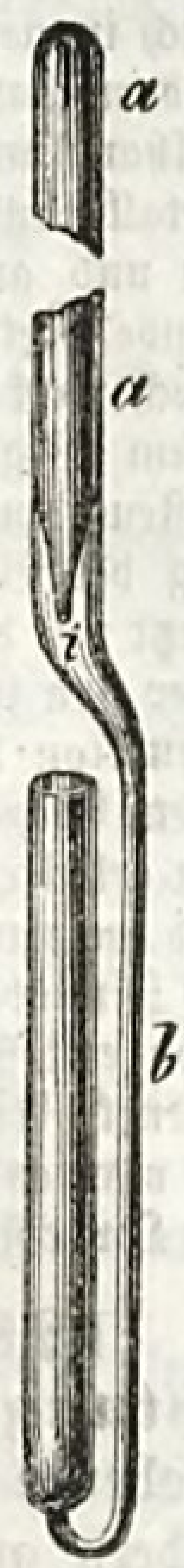


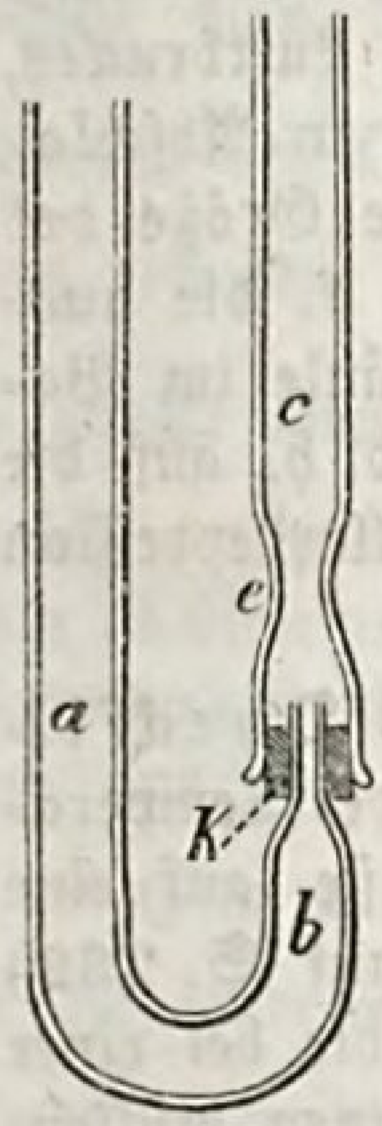
Fig. 232.



schmelzen in das andere Stück b etwas hineinreicht. Bei dieser Einrichtung werden kleine Luftblasen (und nur solche können der immer unerläßlichen Aufmerksamkeit der das Barometer handhabenden Person entgehen), welche aus dem Untertheile b der Röhre in die Torricelli'sche Leere emporsteigen wollen, in dem Raume i zwischen dem Haarröhrchen und der Wand des Röhrenstückes b zurückgehalten (indem sie an der Spitze des Haarröhrchens in dem Raum i abgleiten) und können dann durch Umdrehen der Barometerröhre leicht wieder in die Biegung dieser letzteren emporsteigen gemacht und aus dem Quecksilber hinausgeschafft werden. Die beschriebene Vorrichtung rührt von einem Pariser Glasbläser, Namens Bunten, her, der sie zuerst an den Gay-Lussac'schen Barometern anbrachte, und zwar unmittelbar oberhalb der Stelle, wo wie Fig. 232 zeigt, der obere Schenkel a der Barometerröhre mit der engeren Röhre b zusammengeschmolzen ist. Daß diese Vorrichtung gleich nützlich auch für andere Barometer sei, leuchtet für sich ein.

Diese nur von geschickten Glasbläsern herstellbare, überdies sehr zerbrechliche Vorrichtung ersetzt Lefranc mit vielem Vortheil in der aus Fig. 233 ersichtlichen Weise. a ist der oben geschlossene lange und bc der offene kürzere Schenkel der heberförmigen Barometerröhre; k ein guter etwas konischer Kork, der über die 1 Millimeter weite Spitze an b so gesteckt ist, daß diese 8—10 Millimeter über denselben emporragt. Auf dem Korke steckt die Röhre c, welche die Weite und Beschaffenheit des langen Schenkels a, unten eine etwas konische Erweiterung mit verdicktem Rande und etwas darüber eine Verengung e hat. Nachdem die Hauptröhre ab fast bis zur feinen Spitze mit Quecksilber gefüllt und dieses ausgekocht worden, wird der Kork aufgesteckt und auf diesen die Röhre c, hierauf ersterer, so wie die darüber und darunter befindlichen Röhrentheile mit einem Streifen von mit Leimwasser bestrichener Blase umwickelt, dieser mit einen Faden umbunden und nun das Instrument aufgerichtet, wo sich dann das Quecksilber aus ab in die Röhre c ergießt und dann in diese Röhre nur noch so viel Quecksilber nachgegossen zu werden braucht, daß, wenn das Instrument bis zur Erhebung des Quecksilbers an das geschlossene Ende von a geneigt wird, das Quecksilber andererseits bis e steht.

Fig. 233.



Eine zweite Bedingung der Güte und Brauchbarkeit eines Barometers ist, daß das dazu verwendete Quecksilber von Staub und Schmutz frei und nicht durch darin aufgelöste fremde Metalle verunreinigt, sondern chemisch ganz rein sei; denn im entgegengesetzten Falle hängt es dem Glase an, dadurch verliert es an freier Beweglichkeit in der Röhre und es wird die genaue Bestimmung des Standes seiner Oberfläche darin, also das Maß des Barometerstandes sehr unsicher. Ferner können Barometer, die im verschiedenen Grade verunreinigtes Quecksilber, also Quecksilber verschiedenen spezifischen Gewichtes enthalten, unter übrigens gleichen Umständen in ihren Anzeigen nie übereinstimmen (da von Quecksilber verschiedenen spezifischen Gewichtes nur Säulen verschiedener Länge demselben Luftdruck das Gleichgewicht zu halten vermögen), und doch ist eine solche Uebereinstimmung, wie bei allen Meßinstrumenten, auch bei den Barometern unerläßlich. Sie kann nur durch Anwendung von chemisch reinem Quecksilber, welches unter auch sonst gleichen Umständen immer dasselbe spezifische Gewicht besitzt, erreicht werden. Sehr häufig befindet sich aber das Quecksilber des Handels nicht in diesem Zustande der Reinheit und es muß daher, bevor es zu einem Barometer benutzt werden kann, erst einem Reinigungsprozeß unterworfen werden.

Von Staub und Schmutz, den das Quecksilber aus der Luft, aus den Gefäßen, worin es aufbewahrt wird u. s. w. aufnimmt, kann es leicht dadurch gereinigt werden, daß man es so oft durch immer erneuerte Papiertrichterchen mit sehr feiner Oeffnung in der Spitze laufen läßt, bis an dem Papier kein Schmutz mehr zurückbleibt. Kauft man das Quecksilber aus soliden Materialhandlungen, wohin es unmittelbar aus den Bergwerken gelangt, so erhält es keine fremden Metalle, indem es zum größten Theil bergmännisch als Zinnober (Schwefelquecksilber) gewonnen und aus diesem durch Reduction dargestellt wird. Ist das Quecksilber durch beigemischte fremde Metalle verunreinigt, so soll man es, zum Behufe der Reinigung, mit chemisch reiner, jedoch stark verdünnter Salpetersäure lang und wiederholt schütteln. Indessen scheint es, um auf diesem Wege alle fremdartigen Beimischungen zu entfernen, nothwendig, das Quecksilber wenigstens einige Wochen lang mit der Säure in Berührung zu lassen. Nachdem dann die Auflösung der Beimischungen von dem Quecksilber entfernt worden, ist dieses auf das sorgfältigste, zuletzt mit destillirtem Wasser zu waschen und endlich gut zu trocknen. Ein anderes Mittel, Quecksilber von fremden Metallen zu befreien, besteht in der Umwandlung desselben in Zinnober und Reduction des Metalles aus diesem mittelst Eisenfeilspänen. Jedoch wird das Quecksilber auf diesem Wege eben so wenig als dadurch, daß man es einfach einer Destillation unterwirft, ganz rein erhalten; es ist vielmehr in beiden Fällen immer mit etwas darin aufgelöstem Quecksilberoxyd verunreinigt. Dieses kann aber leicht entfernt werden, wenn man das (durch Reduction aus Zinnober oder durch Destillation gewonnene) Quecksilber mit einer Auflösung von Schwefelwasserstoff oder mit verdünntem Schwefelammonium schüttelt, dann sorgfältig auswäscht und trocknet. Am schnellsten gelingt die Reinigung des Quecksilbers von fremden Metallen dadurch, daß man es auf 32° R. erwärt und dann mit einer sehr concentrirten Auflösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd schüttelt, wodurch alle fremden Metalle oxydirt und aufgelöst werden.

128. Nöthige Correctionen der durch unmittelbare Beobachtung gefundenen Barometerstände. Die Länge der im Barometer erhobenen Quecksilbersäule hängt nicht allein von der Größe des Luftdruckes, sondern auch noch von andern Einflüssen ab, deren Wirkung daher in Abschlag gebracht werden muß, bevor man aus dem Barometerstande auf die Größe des Luftdruckes einen sichern Schluß machen kann. Diese Einflüsse sind: 1. die ausdehnende Wirkung, welche die Wärme sowohl auf die Quecksilbersäule im Barometer als auf den zum Messen ihrer Länge dienenden Maßstab (d. h. auf die gegenseitigen Abstände seiner Theilstriche) übt; und 2. die Capillardepression (**121**), die das Quecksilber im Barometer erfährt.

Correction wegen des Wärmeeinflusses auf das Quecksilber. Damit die Barometerstände von dem veränderlichen Einflusse der Temperatur unabhängig und unter einander vergleichbar sind, muß man sie auf eine bestimmte Temperatur, die Normaltemperatur (man sehe (†) auf S. 232) zurückführen (reduziren), d. h. es muß ermittelt werden, wie groß die bei einer Temperatur t beobachtete Länge L_1 der Quecksilbersäule hätte erscheinen müssen, wenn die Beobachtung nicht bei dieser Temperatur t, sondern unter übrigens gleichen Umständen bei der Normaltemperatur (0°) stattgefunden hätte. Wie diese Zurückführung (Reduction) zu machen sei, ergibt sich aus folgender Betrachtung. Gesetzt, man beobachte den Barometerstand bei der Temperatur 0° und fände die Länge der dem Luftdrucke das Gleichgewicht haltenden Quecksilbersäule = L (d. i. einer gewissen Anzahl Längeneinheiten), so müßte, wenn die Temperatur zu- oder abnähme, bei unveränderlich bleibender Größe des Luftdruckes die Länge der Quecksilbersäule im Barometer auch zu- oder abnehmen; denn da sich, so wie alle Körper, auch das Quecksilber bei wachsender Temperatur ausdehnt und bei abnehmender Temperatur zusammenzieht, mithin im ersteren Falle weniger dicht, oder spezifisch leichter, im letzteren Falle aber dichter oder spezifisch schwerer wird, so muß, damit die Quecksilbersäule im Barometer der Luft den nämlichen Druck wie bei 0° entgegensetze, im ersteren Falle die Abnahme des spezifischen Gewichtes durch Vermehrung und im letzteren Falle dessen Zunahme durch Verminderung der Länge der Säule ersetzt werden. Nun ändert sich, wie die Bestimmungen (von Dulong und Petit) lehren,

die bei 0^0 gemessene Länge L der Quecksilbersäule für jeden Réaumur'schen Temperaturgrad über oder unter Null um ihren 4440sten Theil, also für t^0 R. um $t \cdot \frac{L}{4440}$; es geht daher die Länge L der Quecksilbersäule, die dem Luftdrucke bei 0^0 das Gleichgewicht hält, bei t^0 R. über Null (bei $+ t^0$ R.) in die Länge $L_1 = L + \frac{Lt}{4440}$ und bei t^0 unter Null (bei $- t^0$ R.) in die Länge $L_1 = L - \frac{Lt}{4440}$ über. Man findet mithin aus der Gleichung $L_1 = L + \frac{Lt}{4440} \ldots$ (1), wenn die Länge L der Quecksilbersäule (der Barometerstand) bei 0^0 bekannt ist, die Länge L_1 derselben (den Barometerstand) für irgend eine andere Anzahl von Temperaturgraden, indem man in dieser Gleichung anstatt t diese Anzahl mit dem Zeichen $+$ oder $-$ setzt, je nachdem sie Wärme- oder Kältegrade bedeutet; umgekehrt kann offenbar, wenn der Barometerstand L_1 bei irgend einer Temperatur t bekannt ist, mittelst dieser Gleichung der der Temperatur 0^0 entsprechende Barometerstand L bestimmt (d. i. der bei der Temperatur t stattfindende Barometerstand L_1 auf die Normaltemperatur reducirt) werden. Es ist nämlich $L = L_1 : \left(1 - \frac{t}{4440}\right) \ldots$ (2). Verrichtet man die in (2) blos angezeigte Division wirklich und läßt diejenigen Glieder des Quotienten hinweg, welche $\frac{t}{4440}$ zur zweiten oder eine höhere Potenz erhoben als Factor enthalten und daher einen sehr kleinen Werth haben; so erhält man die Gleichung

$$L = L_1 \left(1 - \frac{t}{4440}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (92),$$

welche (wenn darin, wie oben, t mit dem Zeichen $+$ oder $-$ gesetzt wird, je nachdem es Wärme- oder Kältegrade bedeutet) den auf die Normaltemperatur reduzirten Barometerstand L aber nur näherungsweise, jedoch für alle Fälle hinreichend genau angibt.

Hätte man z. B. bei $+ 16^0$ R. den Barometerstand $L_1 = 27'' \, 5'''$ oder $329'''$ beobachtet, so fände man den auf 0^0 reduzirten Barometerstand $L = 329''' \left(1 - \frac{16}{4440}\right) = 327{\cdot}8$ Linien; oder für den Fall, daß der z. B. bei $- 5^0$ R. beobachtete Barometerstand $28'' \, 3'''$ oder $339'''$ betrüge, wäre $L = 339''' \left(1 + \frac{5}{4440}\right) = 339{\cdot}4$ Linien.

Es ist für sich klar, daß auch in allen andern Fällen, in welchen (man sehe (†) auf S. 232) die Reduction der Längen von Quecksilbersäulen auf die Normaltemperatur nothwendig ist, zu dieser Reduction die Formeln (2) oder (92) dienen.

Für eine Temperatur t nach dem Celsius'schen Thermometer ist in vorstehenden Formeln anstatt 4440 die Zahl 5550 zu setzen, da die Länge L bei 0^0 für jeden Grad nach Celsius sich um ihren 5550sten Theil ändert. Nach Untersuchungen, die in neuester Zeit von Militzer in München angestellt wurden und Vertrauen verdienen, ist der Dulong'sche Ausdehnungscoefficient d. i. der Bruch $\frac{1}{5550} = 0{\cdot}00018018$, um welchen sich eine Quecksilbersäule von der Länge $= 1$ bei einer Temperaturerhöhung um 1^0 C ausdehnt, ungenau und es wäre ihm $\frac{1}{5745{\cdot}4} = 0{\cdot}00017405$ zu substituiren.

Um das wiederholte, zeitraubende Rechnen nach diesen Formeln zu ersparen, hat man zum Behuf der Wärmecorrection der Barometerstände Tafeln, welche für jeden bei irgend einer Temperatur beobachteten Barometerstand die auf 0^0 reduzirte Länge der Quecksilbersäule unmittelbar angeben. Solche Tafeln sind die Tafeln **IX. a** und **IX. b** am Schusse des Buches. Pohl und Schabus haben in neuester Zeit derartige Tafeln zur Reduzirung der Barometerstände von 400 bis 850 Millimeter innerhalb der Grenzen von — 10^0 C. bis + 40^0 C. berechnet, die man in den Sitzungsberichten der kais. Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1852, findet.

Correction wegen des Wärmeeinflusses auf den Maßstab. Auch die besten Maßstäbe sind immer nur für die Temperatur richtig, bei welcher sie verfertigt (getheilt) wurden. Bei höheren Temperaturen dehnen sie sich nämlich aus, ihre Theilstriche rücken weiter von einander, es gehen auf eine bestimmte Länge weniger solcher Theilstriche, der Maßstab gibt daher diese Länge in demselben Verhältniß zu gering an, in welchem er länger geworden, während natürlich bei niedrigern Temperaturen (als die Verfertigungstemperatur) gerade das Entgegengesetzte stattfinden muß. Es verhält sich demnach irgend eine mit einem Maßstabe bei der Temperatur t gemessene Länge **L** zu der richtigen Länge x, welche man gefunden haben würde, wenn der Maßstab die Temperatur **T**, bei welcher er verfertigt worden, gehabt hätte, umgekehrt wie die Länge L_T des Maßstabes bei der Temperatur **T** zur Länge L_t desselben bei der Temperatur t, so daß $L : x = L_T : L_t$ ist . . . (1). Gesetzt nun, der Maßstab bestehe, wie dies meistens der Fall ist, aus Messing. Da sich genauen Bestimmungen zu Folge dieses Metall für jeden Grad des Réaumur'schen Thermometers um $\frac{1}{42640}$ seiner Länge L_0 bei 0^0 ausdehnt, so bestehen aus den nämlichen Gründen, aus welchen die Gleichung (1) auf der vorhergehenden Seite abgeleitet wurde, die Gleichungen $L_T = L_0 + \frac{L_0 T}{42640} = L_0\left(1 + \frac{T}{42640}\right)$ und $L_t = L_0 + \frac{L_0 t}{42640} = L_0\left(1 + \frac{t}{42640}\right)$, aus welchen die Proportion $L_T : L_t = 1 + \frac{T}{42640} : 1 + \frac{t}{42640}$ oder $L_T : L_t = 42640 + T : 42640 + t$, durch Vereinigung dieser und der Proportion (1) weiter

$$L : x = 42640 + T : 42640 + t, \text{ und hieraus endlich } x = \frac{L(42640 + t)}{42640 + T} \quad . . . (93)$$

folgt. In dieser Formel sind natürlich die Temperaturen t und **T** mit dem Zeichen + oder — zu setzen, je nachdem sie Wärme- oder Kältegrade bedeuten, und es dient dieselbe in allen Fällen dazu, um eine mit einem messingenen Maßstab bei irgend einer, von seiner Verfertigungstemperatur **T** verschiedenen Temperatur t bestimmte unrichtige Länge **L** auf die wahre Länge x zurückzuführen, oder, wie man sich gewöhnlich auszudrücken pflegt, eine gemessene Länge **L** in Bezug auf die Ausdehnung des Maßstabes zu corrigiren . . . (2). Um nun diese Correction mit den beobachteten Barometerständen vorzunehmen (wie dies dem Vorhergesagten zu Folge nothwendig ist), hat man nur in der Formel (93) anstatt **L** den vorher in Bezug auf die Ausdehnung des Quecksilbers nach Gleichung (92) auf S. 249 corrigirten Barometerstand und für t und **T**, wie in allen andern Fällen, die Temperatur zu setzen, die der Maßstab während der Barometerstandes-Beobachtung hatte, und bei welcher er getheilt wurde. Für Temperaturgrade t und **T** nach dem 100theiligen (Celsius'schen) Thermometer ist, da die Ausdehnung des Messings für einen solchen Grad $^1/_{53300}$ beträgt, in obiger Formel anstatt 42640 die Zahl 53300 zu substituiren. Besteht der Maßstab aus Silber, so hat man 41920 anstatt 42640 und 52400 anstatt 53300 zu setzen.

Endlich muß hier noch Folgendes bemerkt werden. Die Barometer-Scalen sind meistens nach dem pariser Fuß- oder Meter-Maße getheilt; im ersteren Falle sind sie nur für 13° R. (16·25 C.°) und im letzteren Falle nur für 0° richtig, wornach in der Formel (93) in dem einen Fall für **T**, 13 (oder falls die Temperatur nach dem 100theiligen Thermometer angegeben ist 16·25) und in dem andern Falle 0° zu setzen kömmt.

Um die eben besprochenen Correctionen des Barometerstandes (vorzüglich die wegen der Ausdehnung des Quecksilbers, denn die Ausdehnung des Maßstabes wird, wenn es sich nicht um sehr genaue Resultate handelt, gewöhnlich vernachlässigt) vornehmen zu können, ist an jedem guten Barometer zugleich ein Thermometer angebracht, welches die bei der Beobachtung stattfindende Temperatur der Luft, somit auch des Maßstabes und des Quecksilbers in der Barometerröhre anzeigt. Indessen haben, wie die Erfahrung lehrt, die Luft und das Quecksilber in der Röhre nur in verschlossenen und gleichförmig warmen, äußerst selten hingegen in freien, luftigen Räumen eine ganz gleiche Temperatur, und man erhält den wahren Wärmegrad des Quecksilbers nur dann, wenn die Kugel des etwa in der halben Höhe der Barometerröhre festgemachten Thermometers in einem kleinen geschlossenen Gefäße unter Quecksilber taucht, und dieses Gefäß aus einem Stücke des nämlichen Rohres gebildet ist, woraus die Barometerröhre verfertigt worden.

Correction des Barometerstandes wegen der Capillardepression. Ist der innere Durchmesser der Barometerröhre kleiner als sechs Linien, so findet immer noch Capillardepression Statt, deren Einfluß nicht vernachlässigt werden kann und welche bei Gefäßbarometern, wo sie sich nur in der Röhre, mithin als eine dem Luftdruck entgegenwirkende Kraft äußert, macht, daß die Höhe der Quecksilbersäule geringer ist, als sie vermöge der Größe des Luftdruckes eigentlich sein sollte. Bei Heberbarometern hingegen ist in beiden Röhrenschenkeln Depression vorhanden und zwar im offenen Schenkel, wo die Quecksilberoberfläche mit der feuchten Luft in Berührung steht und deswegen immer eine stärkere Convexität besitzt, als in der Torricelli'schen Leere, stets in größeren Maße. Da beide Depressionen sich als einander gerade entgegengesetzt wirkende Kräfte äußern, so geht daraus eine ihrem Unterschiede gleiche Resultirende hervor, welche die Quecksilberoberfläche im offenen Schenkel niederdrückt, also mit dem Luftdrucke wirkt, so daß die im längern Schenkel getragene Quecksilbersäule länger ausfällt, als sie vermöge der Größe des Luftdruckes allein ausfallen sollte. Man muß demnach, um ein richtiges Maß des Druckes zu erhalten, die bezüglich des Einflusses der Wärme auf das Quecksilber und den Maßstab bereits corrigirte Barometersäule auch noch in Bezug auf die Capillardepression corrigiren, d. h. die Höhe dieser Säule um den Betrag der Depression vermehren oder vermindern, je nachdem an einem Gefäß- oder an einem Heberbarometer beobachtet worden. Allein diese Correction ist schwerer auszuführen als jede der beiden andern, weil die Größe der Depression nicht blos vom Durchmesser der Röhre, sondern auch vom mehr oder minder sorgfältigen Auskochen des Barometers abhängt, daher bei verschiedenen Barometern verschieden ist. Am genauesten erhält man für ein bestimmtes Barometer die Größe der bei demselben stattfindenden Depression, indem man seinen Stand mit jenem eines Barometers vergleicht, an welchem die Röhre mindestens sechs Linien weit ist, deswegen als von aller Depression frei angenommen werden kann, und überdies alle andern Eigenschaften eines Barometers bester Art besitzt, daher Normalbarometer genannt wird.

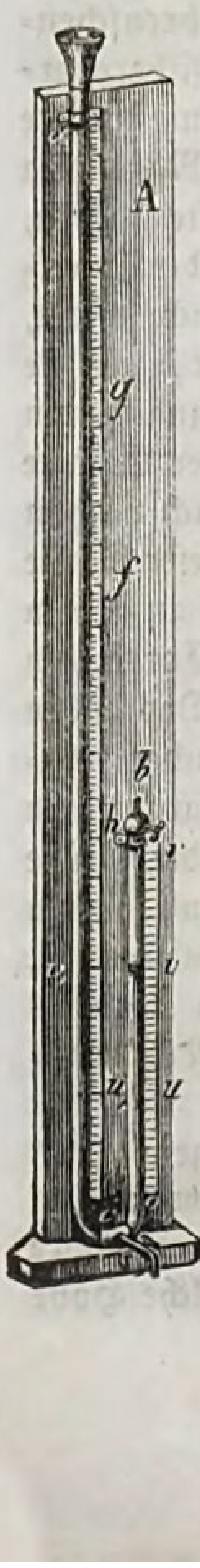
In Ermanglung eines Normalbarometers wird die Depression am genauesten mittelst der Tafel **X** am Ende des Buches erhalten, die nach Schleyermachers Formeln unter gleichzeitiger Rücksichtsnahme auf den Durchmesser der Barometerröhre und auf die Höhe des Meniskus an der Quecksilberoberfläche darin (welche Höhe

der Höhe der Kuppe (Convexität) dieser Oberfläche gleich ist) von Delcros (1841) berechnet wurde.

Dem Vorhergehenden zu Folge ist bei einem Gefäßbarometer die Depression nur für die Quecksilberoberfläche in der Torricelli'schen Leere zu suchen, und zum beobachteten (und rücksichtlich des Wärmeeinflusses bereits corrigirten) Barometerstand zu addiren; bei einem Heberbarometer hingegen muß die Depression sowohl im offenen, als im geschlossenen Röhrenschenkel bestimmt, und der Mehrbetrag der ersteren vom besagten Barometerstande subtrahirt werden. Handelt es sich nicht um große Genauigkeit, so kann man die Depression auch mittelst der vorn S. 227 mitgetheilten Tabelle bestimmen, bei deren Berechnung die Depression als blos vom Durchmesser der Röhre abhängig angesehen wurde, und bei Heberbarometern, an welchen beide Röhrenschenkel einen gleichen Durchmesser haben, kann dann von der Depression (als in beiden Schenkeln gleich, im entgegengesetzten Sinne stattfindend und sich daher gegenseitig aufhebend) ganz abgesehen werden.

129. Beziehung zwischen der Expansivkraft der atmosphärischen Luft, ihrem Volum, ihrer Dichte und der sie zusammendrückenden Kraft. Genauen Versuchen zu Folge sind bei gleichbleibender Temperatur die Expansivkräfte und die Dichten der Luft den sie zusammendrückenden Kräften direct und die Räume, welche sie dabei einnimmt, diesen Kräften umgekehrt proportional. Um dieses Gesetz, welches zuerst von Mariotte nachgewiesen wurde und daher auch das Mariotte'sche Gesetz heißt, zu versinnlichen und (für geringe Druckkräfte) zu constatiren, kann man sich recht gut des in Fig. 234 abgebildeten Apparates bedienen. **a**, **b** sind zwei parallele, unten bei **c** communicirende und an einer hölzernen Säule **A** festgemachte Glasröhren. Die (etwa sechs Fuß

Fig. 234.



und darüber) lange Röhre **a** ist oben offen und hat zur Seite einen auf **A** verzeichneten (z. B. in Zoll und Linien) getheilten Maßstab. Die bedeutend kürzere (etwa nur einen Fuß lange) Röhre **b** trägt an ihrem Ende eine mit einem Hahne **h** versehene Fassung (von Eisen oder Packfong) und neben ihr ist auf **A** eine Volumscale **or** (d. i. eine Scale, an der je zwei aufeinander folgende Theilstriche einen gleichen Volumtheil der Röhre **b** anzeigen) verzeichnet. Oeffnet man nun den Hahn **h**, gießt dann bei **a** so lange Quecksilber ein, bis dieses die kürzere Röhre **b** ganz erfüllt, öffnet hierauf auch den Hahn **i** im Verbindungsstücke **c**, läßt, während daselbst das Quecksilber ausfließt, in die dabei sich entleerende Röhre **b** durch den Hahn **h** atmosphärische Luft einströmen, die vorher von allen fremden Bestandtheilen, insbesondere durch Leiten über Chlorcalcium und lebendigen Kalk, von aller Feuchtigkeit und Kohlensäure befreit worden, und schließt die beiden Hähne **h** und **i**, wenn das Quecksilber in **b** genau bis zum Anfangspunkt **o** der Volumscale gesunken ist; so hat man in der Röhre **b** ein bestimmtes Volum **or** reiner atmosphärischer Luft abgesperrt, welche — da das Quecksilber nach hydrostatischen Gesetzen in beiden Röhrenarmen gleich hoch (bei **o** und **e**) stehen muß — durch ihre Expansivkraft allein (denn vom Gewichte dieses Luftvolums kann wegen seiner Unbedeutendheit ganz abgesehen werden) dem äußern, auf die Quecksilberoberfläche in **e** wirkenden Luftdruck das Gleichgewicht hält. Es ist daher der Druck p der Quecksilbersäule von der Höhe **B** im Barometer (d. i. der Barometerstand) als das Maß der Expansivkraft **E** des Luftvolums **or** anzusehen. Wird jetzt in die Röhre **a** mehr Quecksilber nachgegossen, so steigt auch das Quecksilber im Arme **b**, die da eingesperrte Luft wird daher in einen kleinern Raum zusammengedrängt und zwar desto mehr, je mehr Quecksilber in den Arm **a** nachgegossen wird. Gesetzt, man hätte einmal Quecksilber

bis f, ein anderes Mal bis g nachgefüllt und das Quecksilber des kürzeren Armes b stünde im ersteren Falle bei u, im letzteren bei v; so stellt der Druck p_1 der Quecksilbersäule von der Höhe $B + fu_1$ das Maß der Expansivkraft E_1 der Luft im Raume ur und der Druck p_2 der Quecksilbersäule von der Höhe $B + gv_1$ das Maß der Expansivkraft E_2 der Luft im Raume vr vor, und es besteht die Proportion $E : E_1 : E_2 = p : p_1 : p_2 \ldots 1)$, d. h. die Expansivkräfte, welche die atmosphärische Luft unter der Einwirkung verschiedener, sie zusammendrückender Kräfte äußert, verhalten sich wie diese Kräfte . . . . (94)

Vergleicht man die Volume or, ur und vr, welche das in b abgesperrte Luftquantum unter der Einwirkung der drückenden Kräfte p, p_1 und p_2 einnimmt, so zeigt sich, daß sie untereinander genau im umgekehrten Verhältnisse mit den Höhen der Quecksilbersäulen stehen, unter deren Druck die Luft diese Volume einnimmt, so daß $\frac{1}{or} : \frac{1}{ur} : \frac{1}{vr} = B : B + fu_1 : B + gv_1$ ist. Da sich die Kräfte, womit Quecksilbersäulen von verschiedener Höhe drücken, unter übrigens gleichen Umständen wie diese Höhen verhalten, so hat man ferner

$B : B + fu_1 : B + gv_1 = p : p_1 : p_2$, mithin auch $\frac{1}{or} : \frac{1}{ur} : \frac{1}{vr} = p : p_1 : p_2$, d. h. die Volume, welche ein und dasselbe Luftquantum unter Einwirkung verschiedener drückender Kräfte einnimmt, verhalten sich umgekehrt wie diese Kräfte . . (95),

Da endlich jeder Körper desto dichter wird, in ein je kleineres Volum man ihn zusammenpreßt; so ist auch $\frac{1}{or} : \frac{1}{ur} : \frac{1}{vr} = d : d_1 : d_2$ (wenn d, d_1 und d_2 die Dichten bezeichnen, welche die Luft in den Volumen or, ur und vr besitzt) und es folgt aus dieser Proportion und aus (95) $d : d_1 : d_2 = p : p_1 : p_2$, d. i. die Dichten der atmospärischen Luft verhalten sich, wie die diese letztere zusammendrückenden Kräfte . . . . (96)

Fig. 235.



Um das Stattfinden des Mariotte'schen Gesetzes auch bei Verminderung der Dichte (bei Verdünnung der atmosphärischen Luft darzuthun, nehme man eine (mindestens 30 Zoll lange) Röhre ab (Fig. 235), die bei a einen Hahn hat und mit einer Volumscale versehen ist, tauche sie, nachdem vorher der Hahn geöffnet worden, bis an diesen in ein hinreichend tiefes, Quecksilber enthaltendes Gefäß A, so daß sie ganz mit Quecksilber angefüllt und alle Luft daraus vertrieben ist. Zieht man nun die Röhre aus dem Quecksilber, z. B. bis c empor, läßt dabei durch den Hahn, wieder wie beim vorigen Versuch wohlgetrocknete und gereinigte Luft in dieselbe eintreten, und schließt dann den Hahn; so hält die im Raume $ac = v$ abgesperrte Luftmenge durch ihre Expansivkraft E dem äußeren Luftdruck das Gleichgewicht; es ist daher der Druck p der Quecksilbersäule von der Höhe B im Barometer das Maß der Expansivkraft E. Zieht man jetzt die Röhre ab noch weiter aus dem Quecksilber heraus, und zwar zuerst etwa bis d und nachher bis e, so wird zugleich auch eine Quecksilbersäule mit herausgezogen, so daß in der Röhre im ersteren Falle eine Quecksilbersäule, z. B. von der Höhe h, und im letzteren von der größeren Höhe h_1 über dem äußern Quecksilberspiegel (im Gefäße A) schweben bleibt und die Luft dabei die Räume v_1 und v_2 einnimmt. Es stellt jetzt offenbar der Druck p_1 der Quecksilbersäule von der Höhe $B - h$ das Maß der Expansivkraft E_1 der Luft im Raume v_1 und der Druck p_2 der Quecksilbersäule von der Höhe $B - h_1$ das Maß der Expansivkraft E_2 der Luft im Raume v_2 vor, und es ist daher $E : E_1 : E_2 = p : p_1 : p_2$ . . (97)

Vergleicht man die Räume v, v_1 und v_2, welche die abgesperrte Luftmenge unter den Druckkräften p, p_1 und p_2 einnimmt, so findet man dieselben wieder genau im umgekehrten Verhältnisse mit den Höhen der Quecksilbersäulen stehend, unter deren Druck die sie erfüllende Luft sich befindet, so daß die Proportion $\frac{1}{v} : \frac{1}{v_1} : \frac{1}{v_2} = B : B - h : B - h_1$ besteht, und man hat ganz aus den nämlichen Gründen, die vorher bei Erweisung des Mariotte'schen Gesetzes für Vermehrung der Dichte (für Verdichtung) der Luft angegeben wurden, $B : B - h : B - h_2 = p : p_1 : p_2$;

$$\frac{1}{v} : \frac{1}{v_1} : \frac{1}{v_2} = p : p_1 : p_2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (98);$$

$\frac{1}{v} : \frac{1}{v_1} : \frac{1}{v_2} = d : d_1 : d_2$ (wenn d, d_1 und d_2 die Dichten der Luft in den Räumen v, v_1 und v_2 bezeichnen) und endlich $d : d_1 : d_2 = p : p_1 : p_2$ . . . (99)

Das Mariotte'sche Gesetz wurde bei den frühern Untersuchungen nicht nur für so geringe Verdichtungen und Verdünnungen, wie die eben beschriebenen zwei Apparate mit der atmosphärischen Luft vorzunehmen gestatten, sondern bei Versuchen, welche mittelst anderer geeigneter Apparate angestellt wurden, auch dann noch geltend gefunden, als die atmosphärische Luft bis auf das 27fache ihrer gewöhnlichen Dichte verdichtet oder auf eine 112mal kleinere Dichte gebracht wurde.

Eben so berechtigten die Resultate der erwähnten früheren Untersuchungen zur Annahme: das Mariotte'sche Gesetz gelte auch für alle andern Gase*), jedoch bei jedem Gas nur bis zu einer gewissen von der Natur und überdies auch von der Temperatur desselben abhängigen Dichtigkeitsgrenze; Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und noch einige Gase beobachten das Mariotte'sche Gesetz, selbst, wenn sie durch die stärksten Kräfte zusammengedrückt werden, immer nehme ihr Volum in dem nämlichen Verhältnisse ab, in welchem die zusammendrückende Kraft wächst; bei denjenigen Gasen hingegen, welche, wie Kohlensäure, Chlor, Ammoniak, schweflige Säure u. s. w. durch hinreichende Zusammendrückung zu einer tropfbaren Flüssigkeit condensirt werden können, finde eine Proportionalität zwischen der Abnahme des Volums und der Zunahme der drückenden Kraft nur bis zu einer bestimmten Größe dieser letzteren statt, erst wenn die zusammendrückende Kraft über diese Größe hinaussteigt, nehme das Gasvolum in einem und zwar desto rascherem Verhältnisse ab, als die drückende Kraft wächst, je mehr das Gas dem Uebergangspunkt in den tropfbaren Zustand sich nähert. Nach Regnault's neuesten Versuchen soll jedoch die atmosphärische Luft das Mariotte'sche Gesetz nur für Verdünnungen unter ihrem gewöhnlichen Dichtigkeitszustand nicht aber für Verdichtungen über denselben und im letzteren Falle desto weniger befolgen, je mehr sie verdichtet wird. Wie die atmosphärische Luft soll auch Stickstoff und Wasserstoff vom Mariotte'schen Gesetze abweichen, letzterer aber im entgegengesetzten Sinne. Auch die ebenfalls der neuesten Zeit angehörigen Untersuchungen von Natterer und Rettenbacher, auf welche Untersuchungen wir in der Wärmelehre wieder zurückkommen werden, zeigen, daß bei allen Gasen für starke Druckkräfte das Mariotte'sche Gesetz nicht gelte. Sie fanden unter Sauerstoffgas, Stickgas, Kohlenoxydgas, atmosphärischer

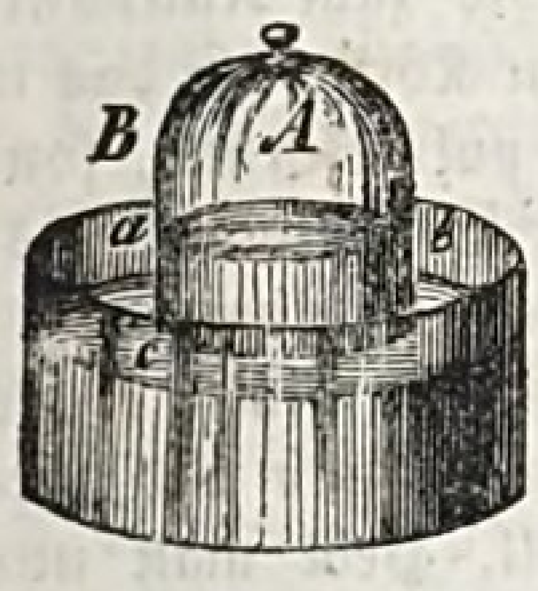
---

*) Zu Versuchen hierüber für geringe Druckkraft können ebenfalls die in Fig. 234 und 235 abgebildeten Apparate dienen. Man läßt zu diesem Ende durch die Hähne h und a anstatt getrockneter und gereinigter atmosphärischer Luft irgend ein anderes Gas aus einem Behältnisse (z. B. aus einer mit Metallfassung und Hahn versehenen Thier- oder Kautschukblase), das vorher auf dem Schraubengewinde des Hahnes h oder a aufgeschraubt worden, einströmen und verfährt dann ganz so, wie dies für die atmosphärische Luft beschrieben wurde.

Luft, Leuchtgas und Wasserstoffgas dieses letzte am meisten und das Stickgas am wenigsten zusammendrückbar. Bei Zunahme des Druckes von 1 Atmosphäre bis 3600 Atmosphären werden in einen bestimmten Raum, von 1 Volum angefangen, anstatt 3600 Volumen nur hineingedrückt: vom Stickgas 710, vom Kohlenoxyd 730, von atmosph. Luft 800, vom Leuchtgase 850 und vom Wasserstoff 1040 Volume.

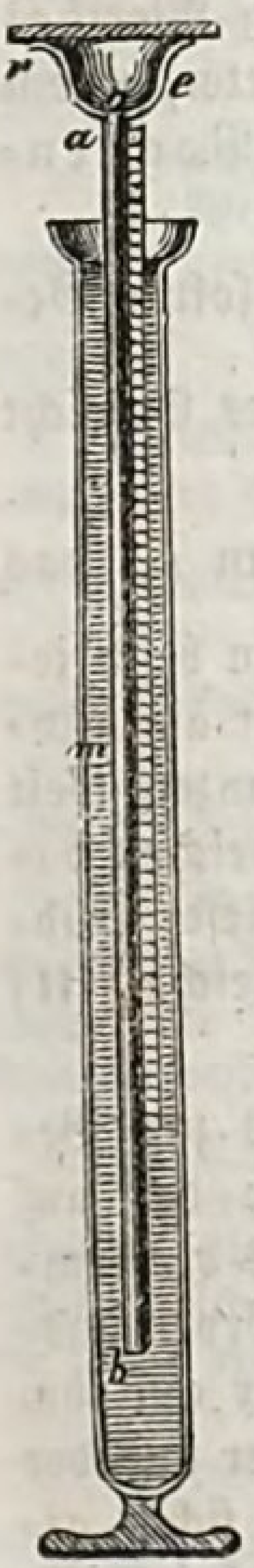
130. Anwendungen des Mariotte'schen Gesetzes. Mit Hilfe dieses Gesetzes läßt sich aus dem bekannten Volum **V**, das ein Gasquantum unter einem bestimmten Drucke **P** hat, leicht das Volum v finden, welches dieses Gasquantum unter irgend einem andern Drucke p einehmen würde. Denn nach (95) und (98) auf S. 253 und 254 ist $V : v = p : P$ mithin $v = V . \frac{P}{p}$. Es seien z. B. im Raume **A** (Fig. 236) der Glasglocke **B** bei einem Barometerstande von 27 Zoll 9 Linien oder 333''', 44 Kub. Zoll Wasserstoffgas durch Quecksilber abgesperrt, so daß diese Sperrflüssigkeit in der Glocke bei ab, d. i. um ac = 18''' höher als außer der Glocke steht und sich demnach das Gas unter dem Drucke einer Quecksilbersäule von der Höhe 333'''—18'''=315''' befindet. Um nun das Volum (die Anzahl Kub. Zolle) v zu finden, welche die nämliche Menge Wasserstoffgases bei einem Barometerstande von 28 Zoll oder 336''', also unter dem Drucke einer 336''' hohen Quecksilbersäule einnehmen würde, hat man, nach (95) S. 253, $44 : v = 336 : 315$, mithin $v = \frac{44.315}{336} = 41{\cdot}2$ Kub. Zoll.

Fig. 236.



Ebenso kann umgekehrt aus der Volumsveränderung, die ein unter einem Drucke stehendes Gas erfährt, die Veränderung in der Größe dieses Druckes bestimmt werden; denn geht das Volum **V** des unter dem Drucke **P** befindlichen Gases blos durch Veränderung dieses Druckes in v über, so muß **P** in $p = \frac{PV}{v}$ übergegangen sein.

Fig. 237.



Auf dem Mariotte'schen Gesetze beruhen auch die nachstehend besprochenen Volumenometer von Say und von Regnault zur Bestimmung des Volums und des spezifischen Gewichtes oder aber der Dichte von Substanzen, welche pulverförmig sind oder mit keiner Flüssigkeit in Berührung kommen dürfen; wie z. B. Satzmehl, Schießpulver, Holz u. s. w.

Die Einrichtung und Anwendung des Say'schen (von Lesli verbesserten) Instrumentes ist folgende. Man denke sich eine beiderseits offene Barometerröhre ab (Fig. 237) am obern Ende mit einer Erweiterung e versehen, diese Erweiterung mit der Röhre durch eine sehr feine, nur für den Durchgang der Luft hinlänglich große Oeffnung o communicirend und durch eine auf ihren ebenen Rand aufgeschliffene, luftdicht aufsitzende Platte r verschließbar, die Röhre ab aber mit einer Doppelscale, nämlich mit einer Längen- und mit einer Volumscale versehen; im Innern der Erweiterung denke man sich ein mit Füßen versehenes Becherchen so stehend, daß die Communicationsöffnung o frei bleibt. Wird die Röhre bis zum Nullpunkt der Volumscale in Quecksilber getaucht (das in einem hinreichend hohen Gefäße m enthalten ist) und hierauf die Erweiterung e mittelst der Platte r luftdicht verschlossen, so steht die in e und in der Röhre bis zum besagten Nullpunkt abgesperrte Luft unter dem Drucke einer Quecksilbersäule b, wenn b den gleichzeitig stattfindenden Barometerstand vorstellt. Man hat also

ein Luftvolum V unter dem Drucke b der Atmosphäre. Hebt man nun die Röhre etwas aus dem Quecksilber empor, so nimmt die abgesperrte Luft einen z. B. um das Volum V_1, welches an der Volumscale gemessen wird, größeren Raum, also das Volum $V + V_1$ ein, steht aber unter einem geringeren Drucke $b - b_1$, indem zugleich mit der Röhre in dieser auch eine, dem äußeren Luftdrucke entgegenwirkende Quecksilbersäule von der Höhe b_1, die man an der Längenscale mißt, emporgehoben wird. Man hat also, da nach dem Mariotte'schen Gesetze die Volume den Druckkräften umgekehrt proportional sind [(98) S. 254], offenbar $\frac{V + V_1}{V} = \frac{b_1}{b - b_1}$, und hieraus $V = V_1 \left(\frac{b - b_1}{b_1}\right) \ldots 1)$. Will man nun das Volum v eines der oben genannten Körper bestimmen, so öffnet man jetzt wieder die Erweiterung e (durch Wegnahme der Platte r), taucht nachher die Röhre abermals bis zum Nullpunkt der Volumscale in das Quecksilber, bringt dann den betreffenden Körper in das in der Erweiterung e befindliche Becherchen (wenn der Körper nicht pulverförmig, sondern compacter Beschaffenheit ist, man also eine Verstopfung der Communicationsöffnung o durch denselben nicht zu besorgen hat, so ist das Becherchen ganz überflüssig) und schließt nun diese Erweiterung wieder luftdicht mittelst der Platte r. Es nimmt nun die im Instrumente abgesperrte Luft offenbar das Volum $V - v$ und wieder unter dem atmosphärischen Druck ein, der jetzt $= B$ sein soll. Hebt man nun abermals die Röhre ab etwas aus dem Quecksilber empor, z. B. so weit, daß die in der Röhre mit emporgehobener Quecksilbersäule die an der Längenscale gemessene Höhe B_1 hat, so nimmt die Luft im Instrumente jetzt das Volum $V - v + V_2$ unter dem Drucke $B - B_1$ ein, wo V_2 an der Volumscale gemessen werden kann, und es ist dem Mariotte'schen Gesetze gemäß wieder $\frac{V - v + V_2}{V - v} = \frac{B_1}{B - B_1}$, aus welcher Gleichung sich nach Substituirung des durch die obige Gleichung gegebenen Werthes von V der Werth von v ergibt. Von dem Regnault'schen Volumenometer, einem dem eben beschriebenen analogen Apparat, findet man die Beschreibung in Poggendorff's Annalen, B. 66. S. 446, auf welche verwiesen werden muß.

Da, wenn p das (durch gewöhnliche Wägung zu bestimmende) absolute Gewicht des in Untersuchung genommenen Körpers bedeutet, $\frac{p}{v}$ sein spezifisches Gewicht s und (nach Anmerkung *) auf S. 202) $\frac{s}{s_1}$ seine Dichte vorstellt, wenn s_1 das spezifische Gewicht des Wassers vorstellt; so erhält man mittelst des eben beschriebenen Apparates auch sehr leicht das spezifische Gewicht und die Dichte der am Eingange bezeichneten Körper, und zwar für poröse und pulverige Substanzen weit genauer, als nach den in der Hydrostatik angegebenen Methoden, nach welchen dadurch immer ein Fehler begangen wird, daß dort die Zwischenräume dieser Substanzen mit zum Volum dieser Körper genommen werden (man vergleiche **(III)** auf Seite 201.

Die (S. 255 gemachte) Anwendung des Mariotte'schen Gesetzes zur Bestimmung der Aenderung, die ein Gasvolum bei Veränderung der Größe des auf ihm lastenden Druckes erfährt oder umgekehrt ist nur insofern gestattet, als die Temperatur des Gases stets die nämliche bleibt. Denn da die Wärme alle Körper ausdehnt, so muß ein Gas, bei Aenderung seiner Temperatur, auch wenn der auf ihm lastende Druck der nämliche bleibt, sein Volum ändern, und es kann daher aus der Aenderung des Volums auf jene des Druckes oder umgekehrt nur dann sicher geschlossen werden, wenn vorher der Einfluß in Abschlag gebracht worden, den ein

etwaiger Temperaturwechsel auf die Volumsänderung geübt hat. Ist das Volum v zu bestimmen, in welches ein unter dem Drucke P und bei der Temperatur T^0 R. befindliches Gasvolum V übergeht, wenn das Gas auf die Temperatur t^0 R. und unter einen Druck p gebracht wird, so gelangt man offenbar zum Ziele, wenn man zuerst das Volum V_1 sucht, in welches das Volum V bei unverändert bleibendem Drucke P blos in Folge der Temperatur-Veränderung des Gases übergehen müßte und hierauf nach dem Mariotte'schen Gesetze das Volum v bestimmt, welches aus V_1 beim Uebergange des Druckes P in p wird. Gesetzt, der Werth von V_1 wäre bereits ermittelt, so hätte man demnach aus $v : V_1 = P : p$, $v = \frac{V_1 . P}{p}$ ...(1.

Die Bestimmung von V_1 geschieht aber leicht mit Hilfe des Erfahrungssatzes, daß alle Gase, welche auch immer ihre Natur und materielle Beschaffenheit sei, ohne erheblichen Unterschied sich für jeden Réaumur'schen Grad, um welchen ihre Temperatur über 0^0 steigt, um den 0·004581sten Theil des Volums v_0, welches sie bei der Temperatur 0^0 besitzen, ausdehnen und für jeden Réaumur'schen Grad unter 0^0 um den nämlichen Bruchtheil von v_0 zusammenziehen*).

Zu Folge dieses Satzes, den wir vorläufig aus der Wärmelehre, wo er näher erörtert und beleuchtet werden wird, entlehnen, können die oben besagten Gasvolume V und V_1 durch die Ausdrücke $V = v_0 + 0{\cdot}004581 v_0 . T = v_0 (1 + 0{\cdot}004581 . T)$ und $V_1 = v_0 + 0{\cdot}004581\, v_0 . t = v_0 (1 + 0{\cdot}004581 . t)$ dargestellt werden (wo T und t einen positiven oder negativen Werth haben, je nachdem sie Temperaturen über oder unter 0^0 bezeichnen), und man hat

$$V : V_1 = 1 + 0{\cdot}004581 . T : 1 + 0{\cdot}04581 . t$$

mithin $V_1 = \frac{(1 + 0{\cdot}004581 . t) V}{1 + 0{\cdot}004581 . T}$ ...(2; aus (2 und (1 folgt

$$v = \frac{(1 + 0{\cdot}004581 . t) VP}{(1 + 0{\cdot}004581 . T) p} \quad . . . . (100)$$

d. i. das in Frage gestellte Volum.

Es lassen sich nun auch folgende Fragen beantworten:

1. Welcher Druck p gehört dazu, damit ein bei der Temperatur T^0 R. und unter dem Drucke P gemessenes Gasvolum V bei einer anderen Temperatur t^0 R. in ein gegebenes Volum v übergehe? — Nach (100) ist dieser Druck $p = \frac{(1 + 0{\cdot}004581 . t) VP}{(1 + 0{\cdot}004581 . T) v}$

2. Wie groß ist die Expansivkraft e eines Gases, das unter dem Volum V und bei der Temperatur T^0 R. die Expansivkraft E besitzt, wenn es in das Volum v und auf die Temperatur t^0R. gebracht wird? — Da, nach (100), $\frac{p}{P} = \frac{(1 + 0{\cdot}004581 . t) V}{(1 + 0{\cdot}004581 . T) v}$ ist, u., nach (94) S. 253, die Expansivkräfte sich direct wie die drückenden Kräfte verhalten, mithin $\frac{p}{P} = \frac{e}{E}$ ist, so hat man $\frac{e}{E} = \frac{(1 + 0{\cdot}004581 . t) V}{(1 + 0{\cdot}004581 . T) v}$ und hieraus $e = \frac{(1 + 0{\cdot}004581 . t) VE}{(1 + 0{\cdot}004581 . T) v}$ . . . (3.

3. Welche Veränderung erfährt die Expansivkraft E eines Gases, wenn dasselbe, ohne sein Volum ändern zu können (z. B. in einem Behältnisse unveränderlicher Größe) von der Temperatur T^0 R. auf t^0 gebracht wird? — Bezeichnet e die der Temperatur t^0 entsprechende Expansivkraft, so ist nach Gleichung (3, wenn darin V=v gesetzt wird, $e = \frac{(1 + 0{\cdot}004581 . t) E}{(1 + 0{\cdot}004581 . T)}$ . . . (4. Aus (4 und (2 folgt weiter $\frac{e}{E} = \frac{V_1}{V}$, d. h. die Expansivkräfte, die ein Gas bei stets gleichbleibendem Volum unter verschiedenen Temperaturen zeigt, verhalten sich wie die Volume, die das Gas bei diesen Temperaturen, aber unter gleichbleibendem Druck einnehmen würde. Es ändert also ein Gas, wenn es in einem, stets die nämliche

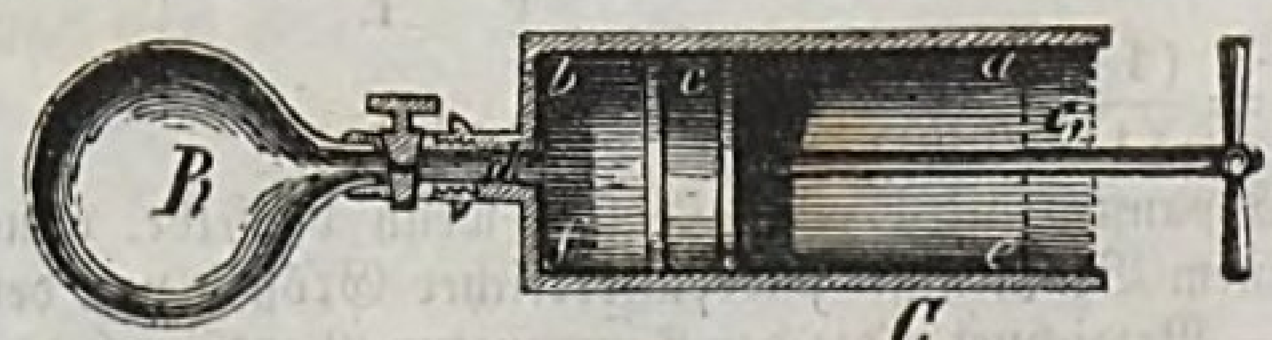
*) Für jeden Grad über oder unter 0^0 nach dem Celsius'schen Thermometer beträgt die Volumsänderung der Gase den 0·003665sten Theil ihres Volums v_0 bei 0^0.

Größe beibehaltenden Gefäße erwärmt oder erkältet wird, seine Expansivkraft in demselben Verhältnisse, in welchem es bei gleichem Temperaturwechsel sein Volum ändern müßte, wenn es sich in einem Behältnisse von veränderlicher Größe (z. B. in einer mit Flüssigkeit abgesperrten Glocke), aber stets unter demselben Druck befände.

131. Spezifische Expansivkraft der Gase. Die Erfahrung, daß verschiedene Gase unter gleichem äußeren Drucke und bei gleicher Temperatur eine ungleiche Dichte, also bei ungleicher Dichte gleiche Expansivkräfte besitzen, und daß sie andererseits bei gleicher Dichte ungleich großen Druckkräften das Gleichgewicht halten, mithin eine ungleiche Expansivkraft äußern, beweist, daß die kleinsten Theilchen verschiedener Gase einander auch mit ungleich großer Kraft abstoßen, die Größe dieser Abstoßungskraft (Expansivkraft) daher unter sonst gleichen Umständen von der besondern oder spezifischen Beschaffenheit der Gase abhänge. Man heißt deswegen diese Abstoßungskraft auch spezifische Expansivkraft, und sieht schon aus diesem Begriffe allein ein, daß den Gasen desto größere spezifische Expansivkräfte zugeschrieben werden müssen, einem je größeren äußeren Drucke sie bei gleicher Dichte und Temperatur das Gleichgewicht zu halten vermögen, oder bei einer je geringeren Dichte sie unter der nämlichen Temperatur schon im Stande sind, denselben äußeren Druck zu ertragen, so daß die spezifischen Expansivkräfte verschiedener Gase den drückenden Kräften, unter welchen sie bei gleicher Dichte und Temperatur stehen, direct und den Dichten oder spezifischen Gewichten, welche sie unter gleicher Pressung und Temperatur besitzen, umgekehrt proportional zu setzen sind. Da unter gleichen Temperatur-Verhältnissen der Wasserstoff schon bei einer 14mal geringeren Dichte als die atmosphärische Luft dem nämlichen Drucke wie diese das Gleichgewicht zu halten vermag, so muß offenbar die spezifische Expansivkraft des Wasserstoffes 14mal größer sein, als jene der atmosphärischen Luft. Durch Erwärmung der Gase wird ihre spezifische Expansivkraft vermehrt, durch Abkühlung vermindert.

132. Einrichtung und Zweck der Luftpumpe. Auf der Ausdehnsamkeit gasförmiger Stoffe beruht ein nicht nur für wissenschaftliche Arbeiten unentbehrlicher, sondern auch in der Technik (im praktischen Leben überhaupt) bereits eine sehr wichtige Rolle spielender Apparat, der (seit dem Jahre 1650, wo ihn Otto von Guericke in Magdeburg erfand) unter dem Namen „Luftpumpe" bekannt ist und dazu dient, die Menge der in einem gegebenen und abgeschlossenen Raume vorhandenen Luft (innerhalb gewisser Grenzen) beliebig zu vermindern oder zu vermehren, d. h. die Luft in einem solchen Raume zu verdünnen oder zu verdichten. Um von der Einrichtung und Wirkung einer Luftpumpe im Allgemeinen eine richtige Vorstellung zu bekommen, denke man sich einen hohlen Cylinder C (Fig. 238), worin sich ein Kolben oder Stempel c luftdicht hin und her bewegen läßt und der durch einen engen Kanal d mit einem, Luft enthaltenden Behältnisse R in Verbindung steht. Ferner denke man sich eine Vorrichtung angebracht, durch welche die Communication des Cylinders mit den Räumen d und R dicht an der Einmündung von d in den Cylinder abgesperrt und das Innere des Cylinders mit der äußeren Luft so in Verbindung gebracht werden kann, daß, während der Kolben c von dem Ende ae des Cylinders bis an dessen Boden bf geschoben wird, der Raum zwischen c und bf beständig mit der äußeren Luft in Communication bleibt. Angenommen nun, es stehe der Kolben an dem Cylinderboden an, es sei der Cylinder in Communication mit d und R aber außer Communication mit der äußern Luft, und man ziehe den Kolben in die punktirte Stellung c_1 am Ende ae des Cylinders, so wird von der in d und R enthaltenen Luft vermöge ihrer Ausdehnsamkeit so lange in den Cylinderraum aebf (den wir der

Fig. 238.



Kürze wegen **E** heißen wollen) einströmen, bis sie sich darin und in d und **R** gleichförmig vertheilt hat; es ist somit dann in den Räumen **R** und d weniger Luft enthalten, als vorher, d. h. die Luft in diesen Räumen ist verdünnt (auf eine geringere Dichte gebracht) worden. Setzt man nun die Räume **R** und d außer Communication mit dem Cylinder, diesen hingegen in Verbindung mit der äußeren Luft und bewegt den Kolben aus der Stellung c_1 bis an den Boden bf, so treibt ersterer alle in **E** befindliche Luft in den äußeren Raum hinaus. Hebt man jetzt die Verbindung des Cylinders mit der äußeren Luft wieder auf, setzt diesen abermals in Communication mit den Räumen d und **R** und zieht den Kolben wieder in die Stellung c_1, so tritt von der in d und **R** zurückgebliebenen Luft neuerdings ein Theil in den Cylinderraum **E**, die Luft in d und **R** wird wieder weniger, also dünner als vorher, und so kann durch fortgesetzte Wiederholung der beschriebenen Operation die Luft in den Räumen **R** und d allmälig immer mehr verdünnt (immer mehr auf eine geringere Dichte gebracht) werden. Da mit jedem Zuge des Kolbens von bf aus in die Stellung c_1 die Luftmenge in d und **R** desto mehr vermindert wird, je größer der Cylinderraum **E** im Verhältnisse zum Raum d + **R** ist, so leuchtet ein, daß die Verdünnung der Luft rascher fortschreiten (für jeden Kolbenzug mehr betragen) müsse, wenn unter übrigens gleichen Umständen **E** größer oder bei ein und derselben Größe von **E** der Raum d + **R** kleiner ist.

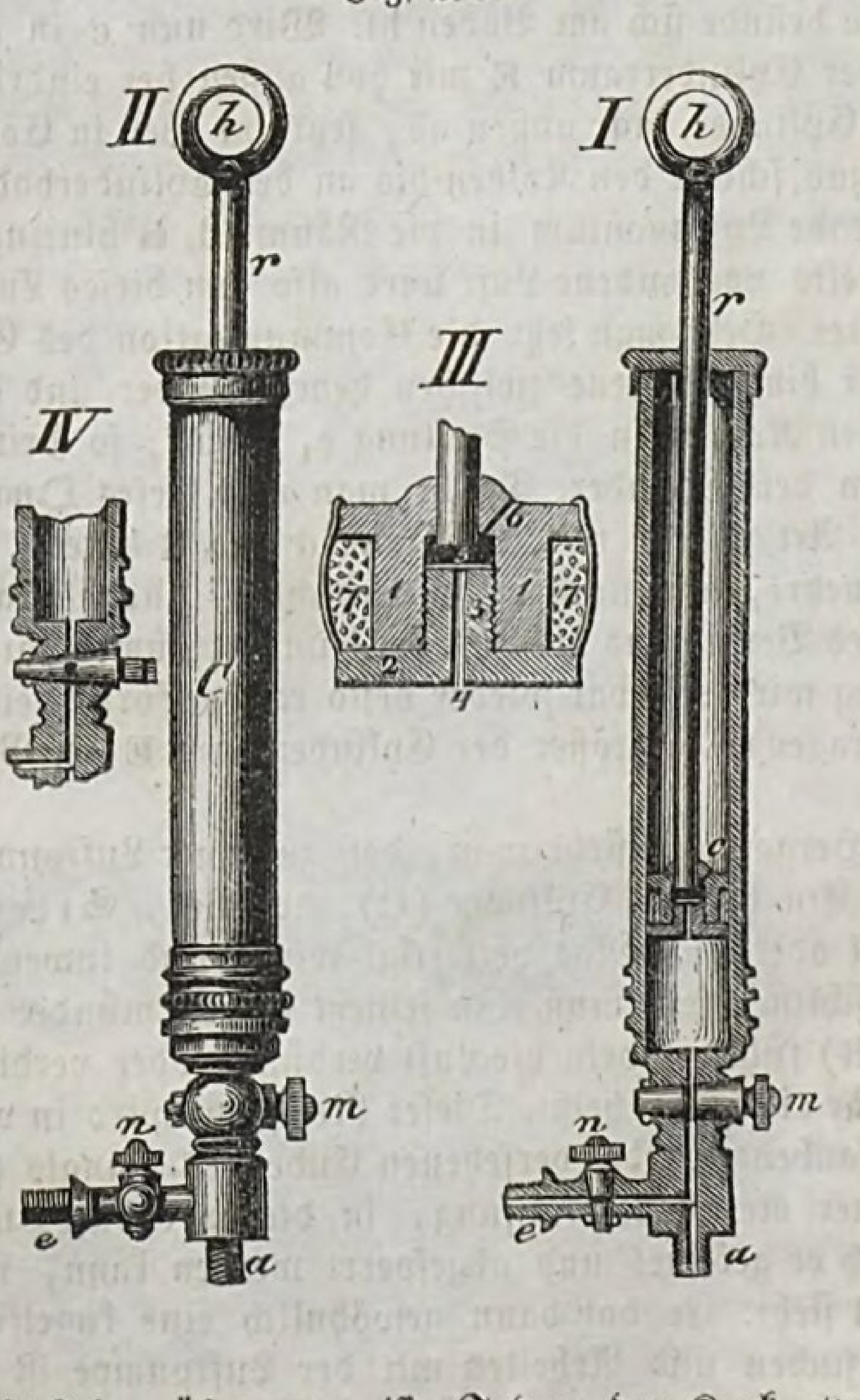
Um einzusehen, wie die Luft in **R** verdichtet werden könne, denke man sich die Räume d und **R** seien bereits mit Luft von irgend einer Dichte angefüllt, ihre Verbindung mit dem Cylinder sei abgesperrt, dieser stehe aber mit der äußern Luft in Communication und der Kolben c befinde sich am Boden bf. Wird nun c in die Stellung c_1 gezogen, so füllt sich der Cylinderraum **E** mit von außen her eindringender Luft; sperrt man dann den Cylinder nach außen ab, setzt ihn aber in Communication mit den Räumen d, **R** und schiebt den Kolben bis an den Cylinderboden bf, so wird das den Raum **E** erfüllende Luftquantum in die Räume d, **R** hineingetrieben, die in diesen Räumen bereits vorhandene Luft wird also um dieses Luftquantum vermehrt, mithin verdichtet. Hebt man jetzt die Communication des Cylinders mit d, **R** wieder auf, stellt hingegen jene zwischen dem Cylinder und der äußeren Luft wieder her und zieht den Kolben in die Stellung c_1 zurück, so dringt ein neues Quantum äußerer Luft in den Cylinder. Treibt man nun dieses Quantum auf die eben vorher angegebene Art wieder in die Räume d und **R** hinein, so wird die Luft darin neuerdings vermehrt, also noch mehr verdichtet, und es kann durch fortgesetzte Wiederholung dieses Verfahrens die Luft in d und **R** immer stärker verdichtet werden. Diese Verdichtung wird offenbar wieder desto rascher fortschreiten (für jeden Kolbenzug desto mehr betragen), je größer der Cylinderraum **E** im Verhältniß zum Raume d + **R** ist.

Aus dem eben beschriebenen Hergange ersieht man, daß zu einer Luftpumpe folgende Haupttheile gehören: 1. Ein hohler Cylinder (C), welcher, Stiefel genannt, aus nicht porösem Metall oder aus Glas verfertigt wird, und inwendig überall gleich weit und sehr glatt geschliffen sein muß. In seinem Boden mündet ein Kanal (d) ein, der in das Gefäß (R) führt, worin die Luft verdünnt oder verdichtet werden soll, und welches der Recipient heißt. Dieser Recipient wird in vielen Fällen an dem mit einem Schraubengewinde versehenen Ende des Kanals (d) festgeschraubt und zwar mittelst einer metallenen Fassung, in die er endigt, und welche einen Hahn enthält, wodurch er geöffnet und abgesperrt werden kann, wie man dies in der folgenden Fig. 241 sieht. Er hat dann gewöhnlich eine kugelförmige Gestalt. Bei den meisten Versuchen und Arbeiten mit der Luftpumpe ist es aber bequem oder selbst nothwendig, die Luft unter gläsernen Glocken zu verdünnen. Diese werden dann mit ihrem ebengeschliffenen Rande luftdicht auf eine horizontale, gleichfalls ebengeschliffene runde Platte (T Fig. 242) von Glas oder Me-

tall, den sogenannten Teller, aufgesetzt, in dessen Mitte das Ende des Kanals (d) ausmündet (man sehe die folgenden Fig. 241 und 242). Um das luftdichte Aufsitzen der glockenförmigen Recipienten auf dem Teller um so sicherer zu erreichen, wird ihr Rand gewöhnlich mit etwas Talg eingeschmiert. — 2. Ein Stempel oder Kolben (c), d. i. ein kurzer, massiver Cylinder, der meistens aus stark aneinander gepreßten, kreisrunden Scheiben oder Ringen von in Fett getränktem Leder oder auch von Papier besteht und sich im Stiefel luftdicht hin und her bewegen läßt. Diese Bewegung geschieht mittelst einer an dem Kolben festgemachten Stange (r) (der Kolbenstange), die am Ende entweder (wie in der folgenden Fig. 239) mit einem Handgriffe (h) versehen ist oder (wie in der Figur 242) an der einen Seite Zähne hat, in welche ein mittelst einer Kurbel (k) drehbares Zahnrad (z) eingreift. — 3. Eine Vorrichtung, um den Stiefel einmal mit dem Recipienten, ein andermal mit der äußern Luft in Communication setzen zu können. Diese Vorrichtung besteht entweder in einem Hahne oder in Ventilen, und deswegen unterscheidet man auch Hahn- und Ventil-Luftpumpen. Wie der Hahn oder die Ventile eingerichtet, wie sie angebracht sind und wie sie wirken, wird aus der nun folgenden Beschreibung einiger Luftpumpen-Constructionen klar werden, die wegen ihrer Einfachheit und Zweckmäßigkeit am häufigsten im Gebrauche und vorzüglich zu empfehlen sind.

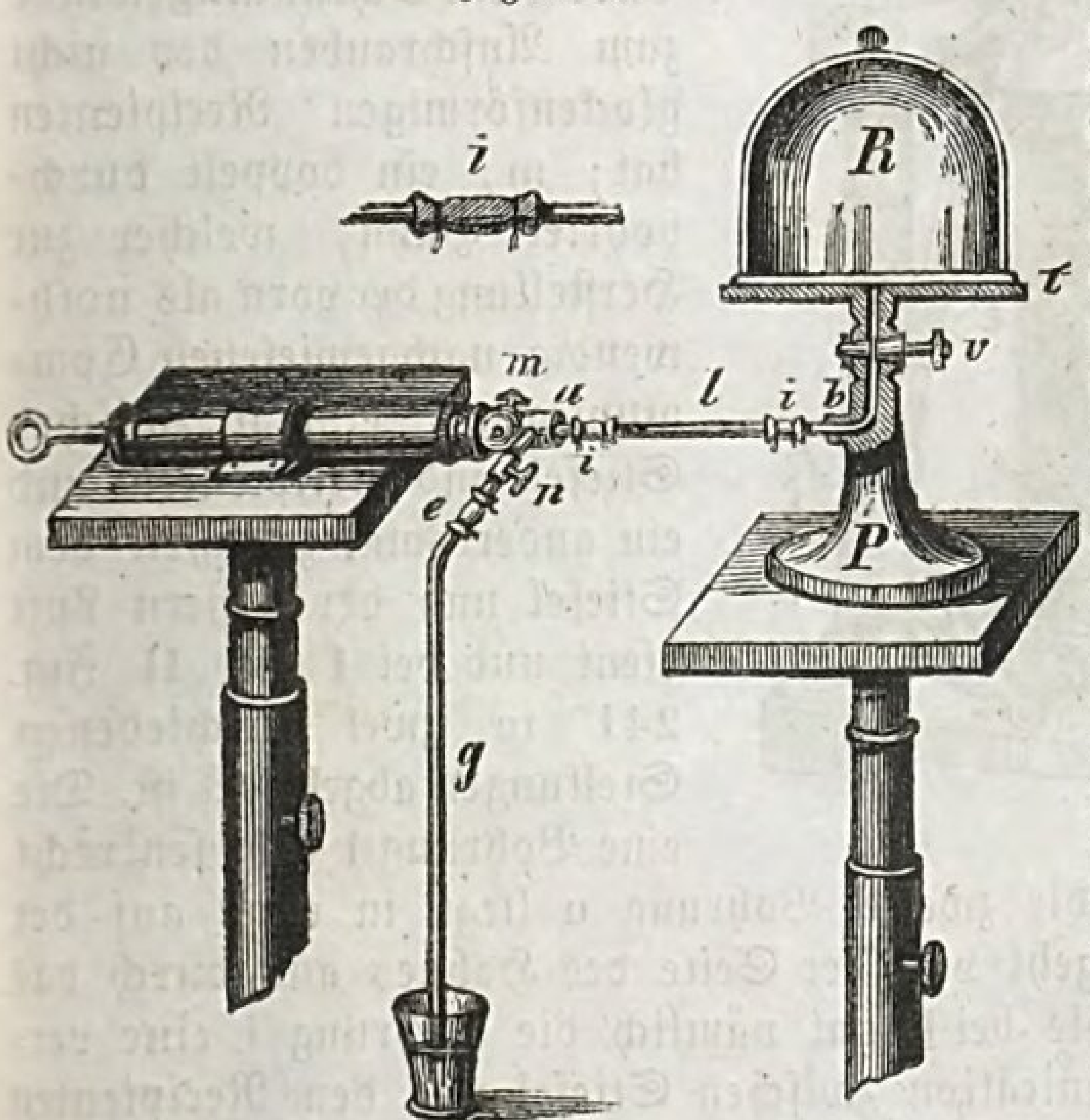
1. Gay-Lussac's Handluftpumpe, die in nur etwas abgeänderter Form durch Fig. 239 etwa im Drittel der natürlichen Größe (bei I im Durchschnitte, bei II in der äußern Ansicht) dargestellt ist, und bei Versuchen in kleinerem Maßstabe, vorzüglich in chemischen Laboratorien mit Vortheil gebraucht wird. Die Buchstaben C, c, r und h haben die oben unter 1. und 2. angegebenen Bedeutungen. Die Hähne m und n mit auf ihre Länge senkrechten Bohrungen sind in den Stellungen, die sie in der Fig. 239 haben, offen, werden sie um 90° gedreht, so sind sie geschlossen. Der Kolben c besteht (wie man bei III, wo derselbe allein abgebildet ist, sieht) aus einem Messingstücke 1, 1, in welches ein zweites Messingstück 2 mittelst eines Schraubenzapfens 3 eingeschraubt ist, das in der Mitte eine Bohrung 4 hat, auf deren oberer Mündung ein Stück 5 luftdicht gemachten Taffets aufliegt. Der enge Kanal 6 im Messingstücke 1 setzt die Höhlung des letzteren, worin sich das Taffetstück befindet, mit dem äußeren Raume über dem Kolben in Communication. Das Messingstück 1 steckt in einem Ringe von Kork 7, 7, der an der äußeren Fläche ringsherum mit Leder überzogen ist. Indem der Kork etwas streng in den Stiefel hineingeht, drückt er durch seine Elasticität das Leder an die Wand desselben nach allen Seiten hin an, so daß der Kolben überall luftdicht in den Stiefel paßt.

Fig. 239.



Soll nun die Luft in einem Recipienten verdünnt werden, so wird dieser — nachdem die Luftpumpe (am besten in aus Fig. 240 ersichtlicher Weise horizontal) auf einem Tische oder einem Postamente befestigt worden, — bei **a** (Fig. 239) angeschraubt, und der Hahn **n** geschlossen. Zieht man jetzt den Kolben zurück, d. i. gegen **A** hin, so tritt ein Theil der Luft aus dem Recipienten durch den offenen Hahn **m** in den Stiefel; dreht man hierauf diesen Hahn um 90°, so daß seine Bohrung gegen ihre vorige Richtung senkrecht steht, mithin (wie man in Fig. 239 bei **IV** abgesondert sieht) die Communication zwischen Stiefel und Recipienten abgesperrt ist, und schiebt dann den Kolben bis an den Boden des Stiefels vor, so muß aus diesem alle Luft durch das Ventil 5, welches von der Mündung der Bohrung 4 zurückgedrängt wird, und durch den engen Kanal 6 im Messingstücke 1 in die äußere Luft entweichen. Wird dann der Hahn **m** wieder in seine ursprüngliche Stellung zurückgedreht und der Kolben abermals gegen **A** gezogen, so tritt ein neuer Theil Luft aus dem Recipienten in den Stiefel, diese muß, wenn man nach abermaligem Drehen des Hahnes **m** in die Stellung **IV** den Kolben wieder gegen **m** schiebt, neuerdings durch 5 und 6 entweichen und bei, in dieser Art fortgesetztem Spiele des Kolbens und Hahnes wird natürlich die Luft im Recipienten immer mehr verdünnt werden.

Fig. 240.



Soll die Verdünnung in einem glockenförmigen Recipienten vorgenommen werden, so wird ein auf einem passenden Postamente P (Fig. 240) befestigter Teller t (worauf der betreffende Recipient R steht) mit dem Stiefel durch ein Glasrohr l in Communication gesetzt, welches mittelst aus Kautschukstreifen verfertigter Röhrchen i, i (man sehe zu Ende **20**, auf S. 34) einerseits an a und andererseits an einem in der Mitte des Tellers ausmündenden Kanal b luftdicht befestigt wird. Der Hahn v unter dem Teller dient zum Absperren der Communication des Recipienten mit dem Stiefel. Der Hahn n an der Luftpumpe und die Röhre, worin er sich befindet, machen es leicht möglich, in jedem Augenblick den bereits erreichten Grad der Luftverdünnung im Recipienten zu bestimmen. Denn ist bei e (wieder mittelst eines Kautschukröhrchens) eine oben offene, am untern Ende in Quecksilber tauchende Barometerröhre g befestigt und der Hahn n geöffnet, so wird die Luft in dieser Röhre in gleichem Grade verdünnt, wie im Recipienten, der äußere Luftdruck macht das Quecksilber darin in dem Maße höher steigen als die Verdünnung fortschreitet, und man erfährt, wenn h die Höhe der in g gehobenen Quecksilbersäule, b der äußere Barometerstand, mithin b—h der Druck ist, unter dem sich die verdünnte Luft in g und also auch in R befindet — den fraglichen Grad der Verdünnung, d. i. die Dichte D_1 der Luft im Recipienten im Verhältniß zur Dichte D der äußeren Luft aus der nach (96) S. 253 bestehenden Proportion $D_1 : D = b - h : b$; man erhält nämlich $D_1 = D \cdot \frac{b-h}{b}$.

2. Die einstieflige Hahnluftpumpe *), welche durch Fig. 241 im Durchschnitte und durch Fig. 242 in perspektischer Ansicht dargestellt ist. In beiden Figuren sind die nämlichen Theile mit gleichen Buchstaben bezeichnet. **C**, der

*) Es gibt nämlich auch Luftpumpen mit zwei Stiefeln, welche, wie wir im Folgenden hören werden, wesentliche Vortheile vor den einstiefligen gewähren.

Fig. 241.

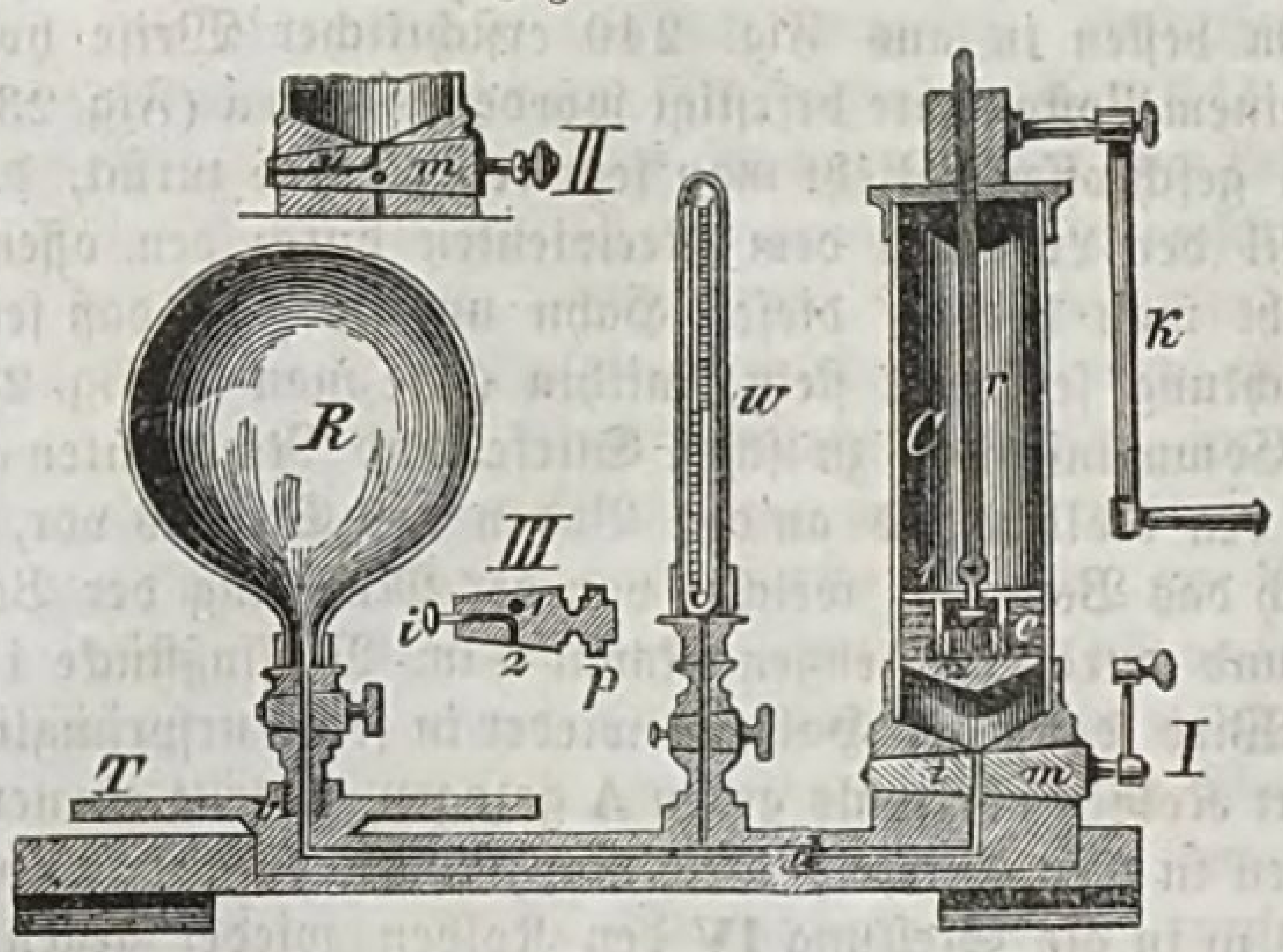
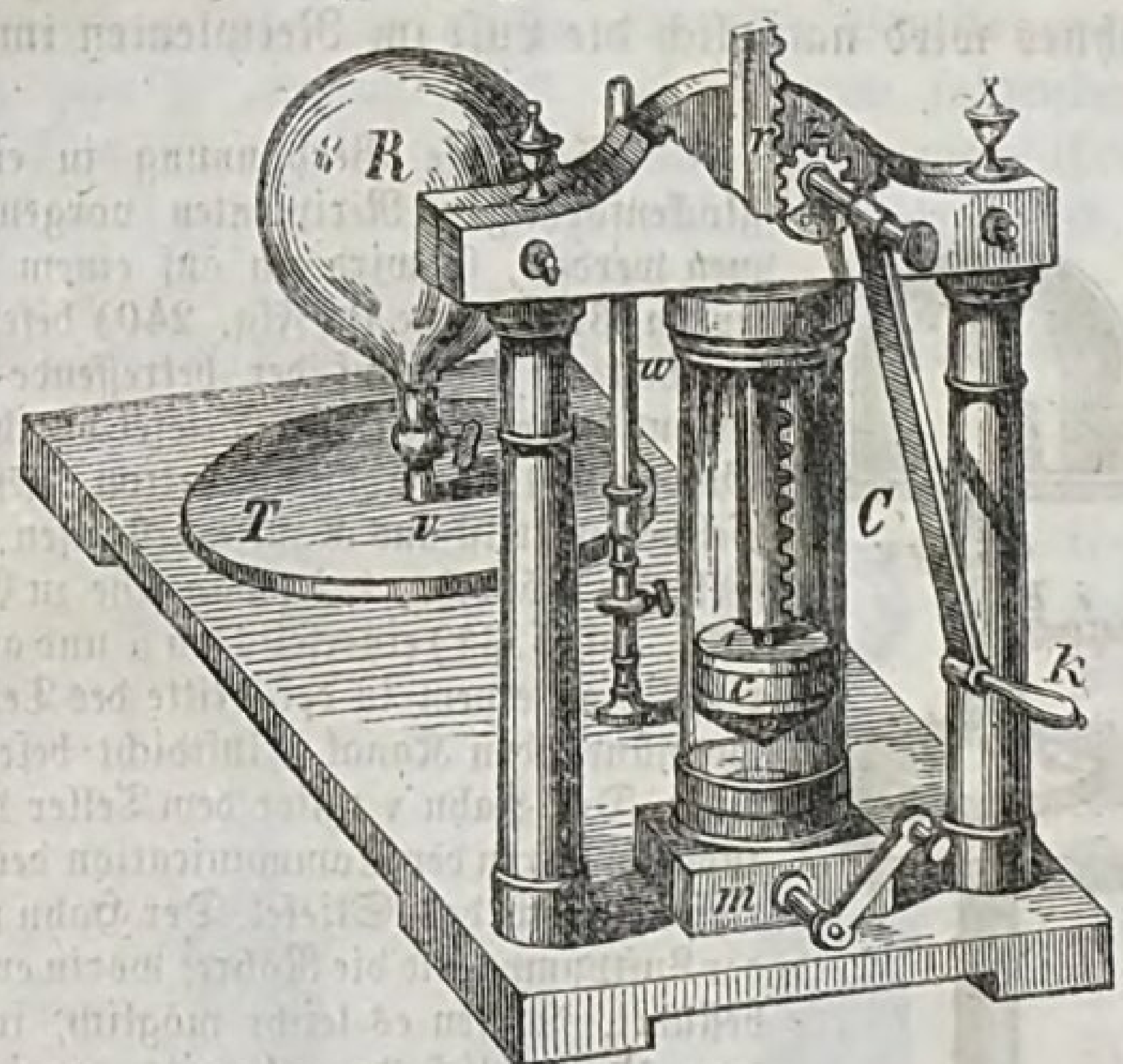
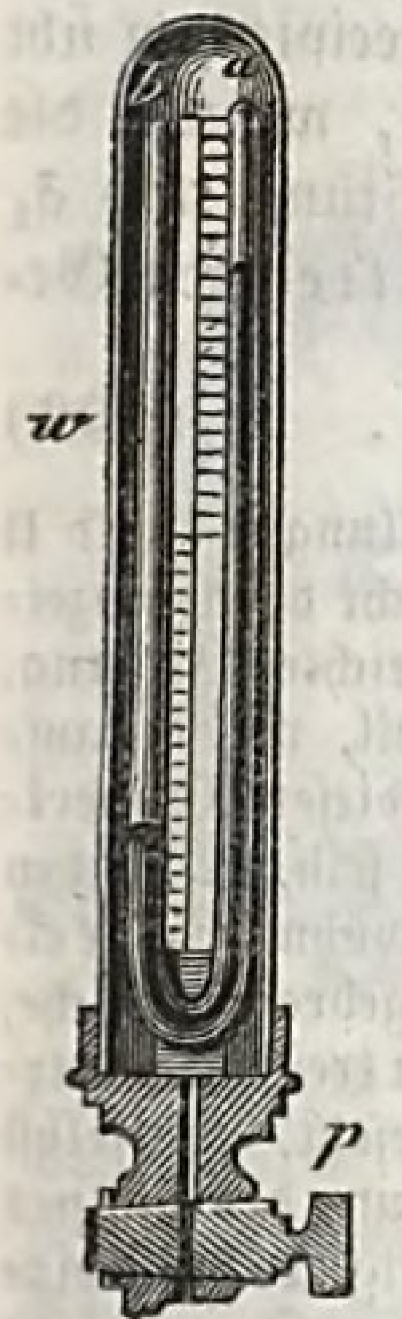


Fig. 242.



Stiefel; c, der Kolben, welcher massiv (nicht durchbrochen und mit keinem Ventil versehen) ist, und aus eingefetteten Lederscheiben besteht, die zwischen zwei zusammengeschraubten Metallplatten 1, 2 fest eingepreßt sind; r, die gezähnte Kolbenstange, die durch das eingreifende Zahnrad **z** mittelst der Kurbel **k** auf und nieder bewegt wird; **T**, der Teller; **R**, der Recipient; d, der den Stiefel und den Recipienten verbindende Kanal, der an dem einen, durch die Mitte des Tellers gehenden Ende **v** ein Schraubengewinde zum Anschrauben der nicht glockenförmigen Recipienten hat; m, ein doppelt durchbohrter Hahn, welcher zur Herstellung der vorn als nothwendig nachgewiesenen Communication einmal zwischen Stiefel und Recipienten und ein anderesmal zwischen dem Stiefel und der äußern Luft dient und bei **I** und **II** Fig. 241 in zwei verschiedenen Stellungen abgebildet ist. Die eine Bohrung **i** geht senkrecht auf seine Längenachse durch und die zweite Bohrung **u** liegt in einer auf der Bohrung **i** senkrechten Ebene und geht von der Seite des Hahnes aus durch das eine Ende desselben. Steht dieser wie bei **I**, hat nämlich die Bohrung **i** eine vertikale Stellung, so herrscht Communication zwischen Stiefel und dem Recipienten und die Luft in letzterem wird beim Emporbewegen des Kolbens verdünnt; wird der Hahn aber um 90° (um eine Viertelumdrehung) gedreht, so daß er in die bei **II** anschaulich gemachte Stellung kömmt, so ist der Recipient vom Stiefel abgesperrt, dieser letztere aber durch die Bohrung **u** mit der äußeren Luft in Communication gesetzt und die vorhin aus **R** nach **C** gelangte Luft wird bei Niederbewegung des Kolbens in den äußern Raum getrieben. **w** ist ein weites, oben geschlossenes, unten mit einer messingenen Fassung versehenes Glasrohr, worin sich ein abgekürztes Heberbarometer (die sogenannte Barometerprobe) befindet und dessen Inneres durch einen Hahn (p) in oder außer Communication mit dem Kanal d gesetzt werden kann. In Fig. 243 ist die gewöhnlich nur 7 bis 8 Zoll hohe Barometerprobe in größerem Maßstabe abgesondert dargestellt. Das Quecksilber füllt den zugeschmolzenen Schenkel a der Barometerröhre ab ganz aus und fängt darin, wenn zwischen **w** und d Communication herrscht, erst zu sinken an, nachdem die auf das Quecksilber im offenen Schenkel b wirkende Luft schon auf $\frac{1}{4}$ der Dichte der äußeren Atmosphäre verdünnt worden. Von diesem Punkte an läßt sich aus dem Stande des

Fig. 243.

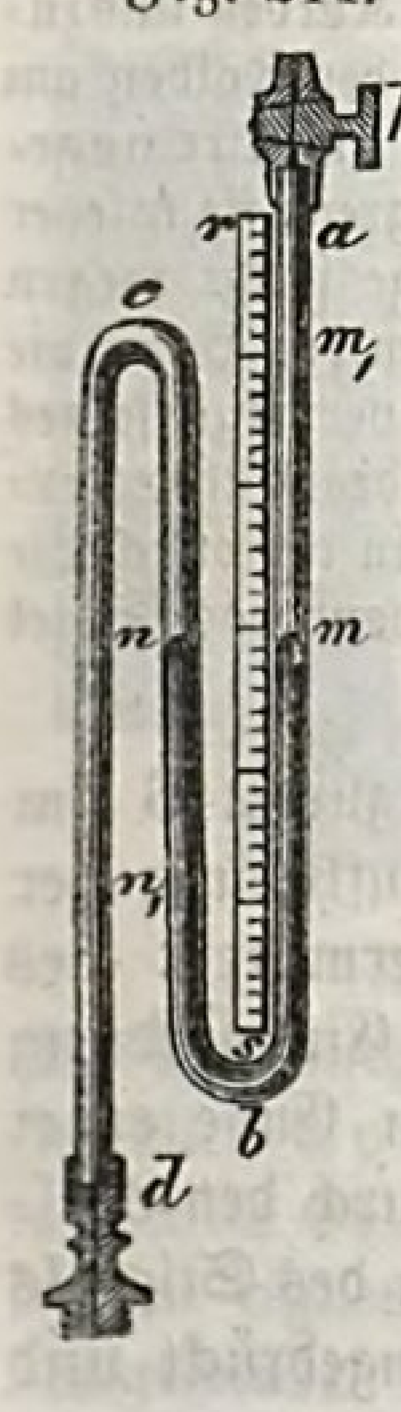


Quecksilbers in der Barometerprobe immer der Grad der bereits erreichten Verdünnung in w und somit auch in R erkennen; denn man hat, wenn D_1 die Dichte der Luft in w und R, D die Dichte der äußeren Luft, b_1 den gegenseitigen Abstand der beiden Quecksilberoberflächen in der Barometerprobe und b den Barometerstand in der äußern Atmosphäre bezeichnen, dem Mariotte'schen Gesetze zu Folge, $D_1 : D = b_1 : b$ und hieraus $D_1 = D . \frac{b_1}{b}$ . . (101)

Der Hahn p, bei **III** Fig. 241 abgesondert dargestellt, hat nebst der geraden Bohrung 1, welche, wie man aus derselben Figur ersieht, w mit dem Kanale d in Communication setzt, noch eine krumme Bohrung 2, die am Ende des Hahnes mit einem metallenen Stöpsel i verschlossen ist. Soll w von d abgesperrt werden, so gibt man dem Hahne p durch eine Viertelumdrehung die Stellung wie bei **III**. Zugleich gestattet dieser Hahn, nach Belieben in den Recipienten oder in die Barometerprobe wieder Luft eintreten zu lassen. Zu ersterem Behufe dreht man den Hahn in die Stellung **III** und zieht den Stöpsel i aus 2 heraus. Bringt man den Hahn hierauf in die mit **III** entgegengesetzte Stellung, so dringt Luft auch in die Barometerprobe ein.

Um mittelst der beschriebenen Luftpumpe die Luft in einem bei v angeschraubten Recipienten zu verdichten, wird dem Wechselhahne m zuerst die Stellung **II** gegeben und der Kolben in die Höhe gezogen, so daß sich der Stiefel durch die Hahnbohrung u von außen her mit Luft füllt; hierauf wird der Hahn m in die Stellung **I** gedreht und die den Stiefel erfüllende Luft durch Niederbewegen des Kolbens in den Recipienten getrieben u. s. f. Den Grad der bereits erzielten Verdichtung findet man leicht mit Hilfe eines sogenannten Verdichtungs-Manometers, welches in der bequemsten Gestalt aus einer zweimal heberförmig gebogenen Röhre abcd Fig. 244 von dickem Glase besteht, die bei a mit einem Sperrhahne h und bei d mit einer Fassung versehen ist, womit sie anstatt der Barometerprobe oberhalb des Hahnes p (Fig. 241) festgeschraubt werden kann, wie dies in der spätern Fig. 247 dargestellt ist. Die Schenkel ab und bc enthalten so viel Quecksilber, daß dieses, wenn bei a und d die Luft frei eintreten kann, etwa in der Höhe mn steht. Der Schenkel ab trägt ferner von m aufwärts eine Volumscale und der zwischen ab und bc festgemachte Streifen rs ist in Zoll und Linien getheilt. Hat man nun das Manometer anstatt der Barometerprobe an der vorn bezeichneten Stelle festgeschraubt, es werden dann die Hähne h und p geöffnet, so daß durch ersteren die äußere, und durch letzteren die mit dieser gleich dichte Luft im Recipienten auf das Quecksilber wirken kann, mithin dessen Oberflächen m, n gleich hoch stehen, und man sperrt nun den Hahn h ab, so wirkt die Luft im Recipienten auf die im Volum ma eingeschlossene Luft mit einer Expansivkraft, deren Maß der äußere Barometerstand b ist. Wird hierauf durch das Spiel der Pumpe die Luft im Recipienten verdichtet, so nimmt ihre Expansivkraft zu, und die Luft im Röhrenschenkel ab wird in einen kleineren Raum zusammengedrückt. Gesetzt, die Oberfläche des Quecksilbers in ab wäre hierbei bis m_1 gestiegen, in bc aber bis n_1 gesunken und das jetzige Luftvolum m_1a betrüge $1/_3$ des Raumes ma, den die Luft vorher einnahm, so hält jetzt die Luft im Recipienten durch ihre Expansivkraft der (durch Zusammendrücken in den dritten Theil des ursprünglichen Volums) auf das 3fache gesteigerten Expansivkraft (3b) der Luft in m, a und

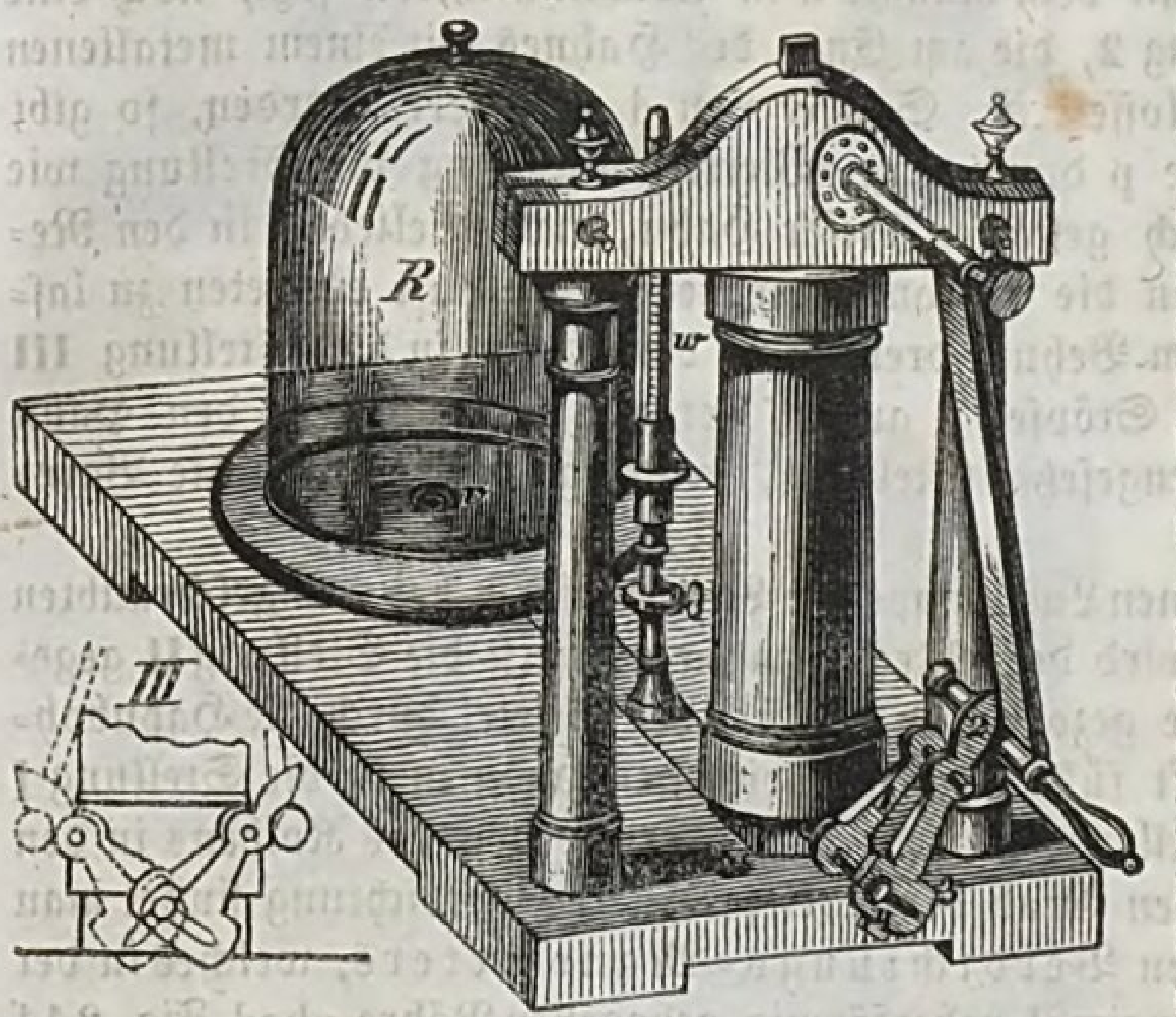
Fig. 244.



überdies dem Drucke einer Quecksilbersäule von der Höhe $m_1 n_1$, (den wir mit b_1 bezeichnen wollen) das Gleichgewicht; die verdichtete Luft im Recipienten übt also jetzt eine Expansivkraft, deren Maß $3b + b_1$ ist, und man hat, wenn d die Dichte der äußern Luft oder der Luft im Recipienten vor der Verdichtung und d_1 die Dichte dieser Luft nach erfolgter Verdichtung bedeutet, dem Mariotte'schen Gesetze zu Folge $d : d_1 = b : 3b + b_1$, mithin $d_1 = d \cdot \frac{3b + b_1}{b}$ . . . . (102)

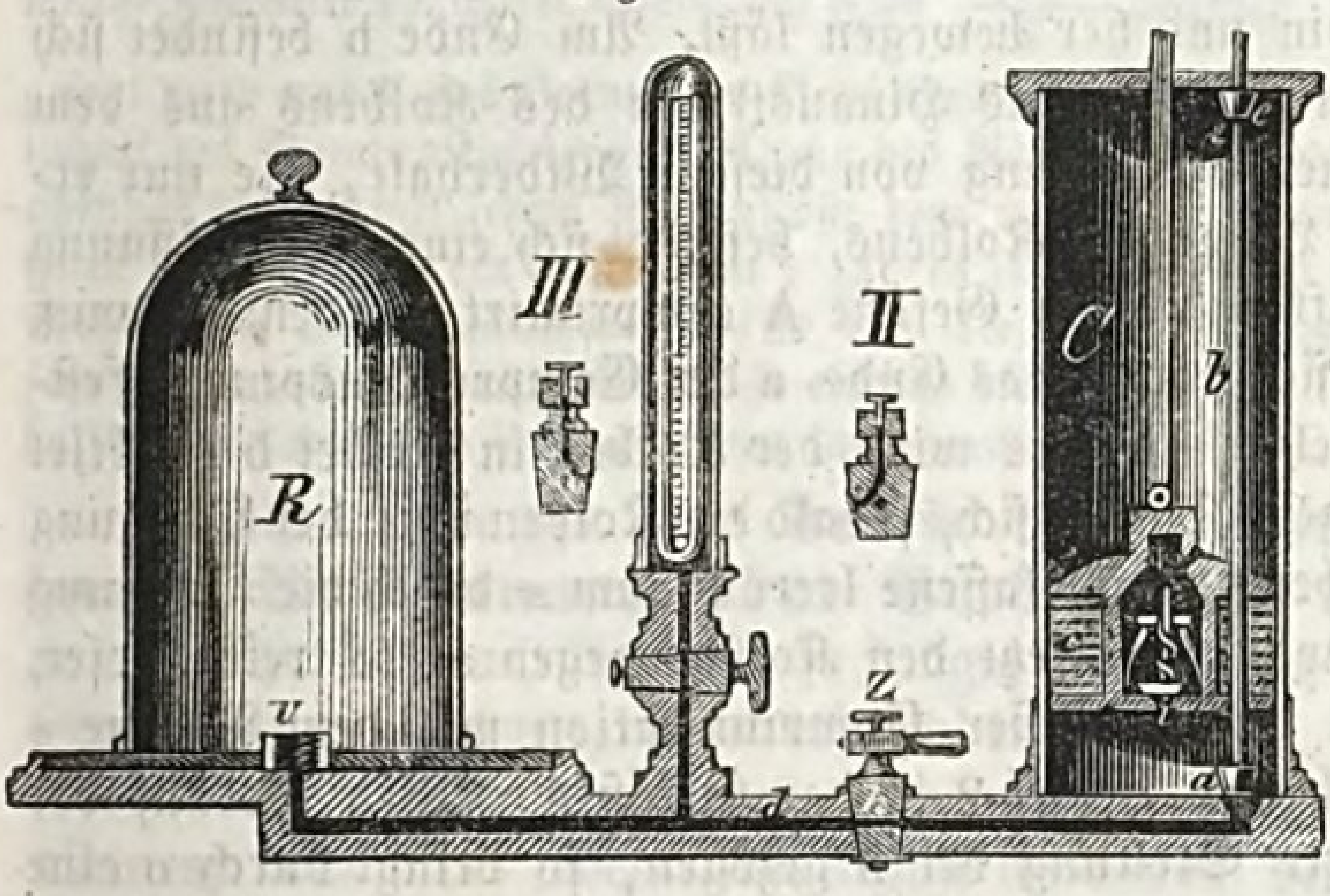
Das früher besprochene Drehen des Hahnes m in die abwechselnden Stellungen I und II der Fig. 241 unmittelbar mit der Hand fordert viele Aufmerksamkeit, damit nicht durch unzeitiges oder unpassendes Verstellen dieses Hahnes die mit der Pumpe bereits erreichte Wirkung, wenigstens zum Theil, wieder aufgehoben werde. Um dieser Aufmerksamkeit enthoben zu sein, ist an den Hahnluftpumpen gewöhnlich eine eigene Vorrichtung angebracht, welche, durch die den Kolben treibende Kurbel in Thätigkeit gesetzt, von selbst die passende Verstellung des Hahnes bewerkstelligt. In Fig. 245 ist eine solche Vorrichtung (Steuerung) anschaulich gemacht. Am obern Ende des zur leichtern Bewegung des Hahnes m dienenden Hebels 1 dreht sich um einen horizontalen Zapfen ein Messingstück (ein Flügel) 2, 3, der in seinem unteren, breiteren Theile 3 einen Schlitz 4 hat, durch welchen das noch über den Hebel 1 hervorstehende, cylindrische Ende des Hahnkopfes hindurchgeht. Steht nun der Flügel wie in der Fig. 245, wo sich dann der Hahn m in der Stellung II (der Fig. 241) befindet, und man bewegt die Kurbel von rechts nach links, so ergreift sie mit ihrem untern Ende den Flügel am Obertheil 2, bewegt ihn auf die andere Seite in die bei III Fig. 245 punktirt dargestellte Lage und dreht hiedurch den Hahn m in die Stellung I (Fig. 241). Während diese Drehung geschieht, geht das untere Ende der Kolbenstange leer im Kolben in die Höhe (die Einrichtung, welche dieses theilweise Leergehen möglich macht, sieht man in Fig. 241) und führt diesen erst dann mit sich fort, nachdem der Hahn in der Stellung I angelangt ist. So lange der Kolben im Aufwärtssteigen begriffen ist, gestattet der Schlitz 4 dem Obertheil 2 des besagten Flügels der ihre Bewegung fortsetzenden Kurbel auszuweichen, so daß der Hahn während dem die Stellung I nicht verläßt. Ist aber der Kolben am oberen Ende des Stiefels angekommen, wo die Kurbel sich dann in dem bei III punktirt angedeuteten Stand befindet, und diese wird jetzt von links nach rechts bewegt, so ergreift sie wieder den Flügel bei 2 und führt den Hahn in die Stellung II zurück. Die Kolbenstange fängt wegen des vorerwähnten leeren Ganges im Kolben auch jetzt diesen letzteren, erst nachdem der Hahn die Stellung II eingenommen hat, wieder zu bewegen an, und der Hahnflügel läßt vermöge seines Schlitzes auch während dieser Bewegung die Kurbel, ohne daß eine Verstellung des Hahnes erfolgt, passiren, so lange bis der Kolben am Boden des Stiefels und die Kurbel in der durch die Fig. 245 dargestellten Lage zur rechten Seite des Hahnes angelangt ist, wo dann das Spiel von vorn angeht.

Fig. 245.



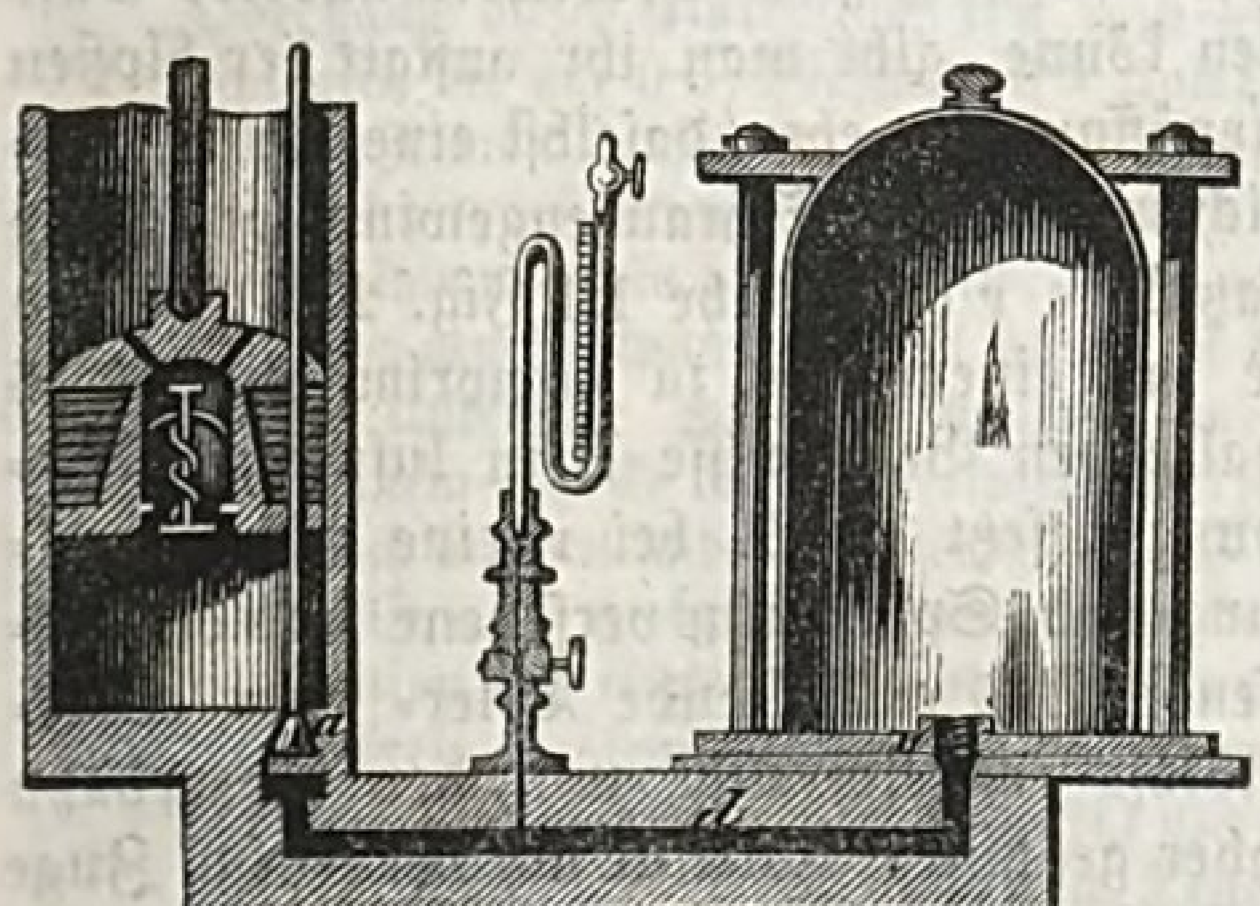
3. Die einstieflige Ventilluftpumpe, welche in Figur 246 im Durchschnitte dargestellt ist. Bei derselben wird die Herstellung und Aufhebung der Communication zwischen dem Stiefel C und dem Recipienten R vermittelst des kleinen Kegels a bewerkstelligt, der in die (gleichfalls kegelförmige) Einmündung des Kanals d in den Stiefel luftdicht hineinpaßt und sich am untern Ende einer cylindrischen Stange b befindet, die mit einiger Reibung luftdicht durch den Kolben c geht und oben einen Widerhalt e hat. Steht der Kolben am Boden des Stiefels auf, so ist der Kegel a in die konische Mündung des Kanals d hineingedrückt und

Fig. 246.



die Communication zwischen Stiefel und Recipienten abgesperrt. Wird der Kolben in die Höhe bewegt, so zieht er die Stange b so weit mit empor, daß der Kegel a gerade aus der Mündung des Kanals d heraustritt (ein weiteres Emporziehen der Stange b wird durch Anstoßen des Widerhaltes e an den der durchgehenden Kolbenstange freien Spielraum gestattenden Deckel des Stiefels verhindert), es steht jetzt der Stiefel mit dem Recipienten in Verbindung und die Luft im letzteren wird, während der Kolben an der Stange b luftdicht emporgleitet, verdünnt. So wie der Kolben niederzugehen anfängt, schließt der Kegel a (zu Folge Reibung zwischen der Stange b und dem Kolben) sogleich den Kanal d, die aus dem Recipienten in den Stiefel gelangte Luft kann also nicht mehr in den ersteren zurück, sondern wird im Stiefel zusammengedrückt, öffnet in Folge ihrer hierdurch vermehrten Expansivkraft ein im Kolben angebrachtes, von unten nach oben aufgehendes Ventil i und entweicht durch dasselbe in den äußern Raum. Mittelst des Hahnes h kann man von außen Luft nach Bedürfniß in den Recipienten oder in den Stiefel eintreten lassen. Zu ersterem Behufe dreht man den Hahn in die bei **II** und zu letzterem Behufe in die bei **III** abgebildete Stellung und zieht den Stöpsel **z** heraus. Die beschriebene Ventilluftpumpe kann nur zum Verdünnen der Luft verwendet werden. Eine Ventilluftpumpe zum Verdichten muß so eingerichtet sein, daß die Einmündung des Kanals d in den Stiefel beim in die Höhe Gehen des Kolbens durch den Kegel **a** geschlossen und beim Niedergehen geöffnet sei; die Klappe im Kolben muß von oben nach unten aufgehen, und in umgekehrter Richtung sich schließen. Man sieht eine solche blos zum Verdichten geeignete Ventilluftpumpe in Fig. 247 abgebildet. Ihre Wirkung ist aus der bloßen Anschauung der Zeichnung ohne weitere Beschreibung klar.

Fig. 247.

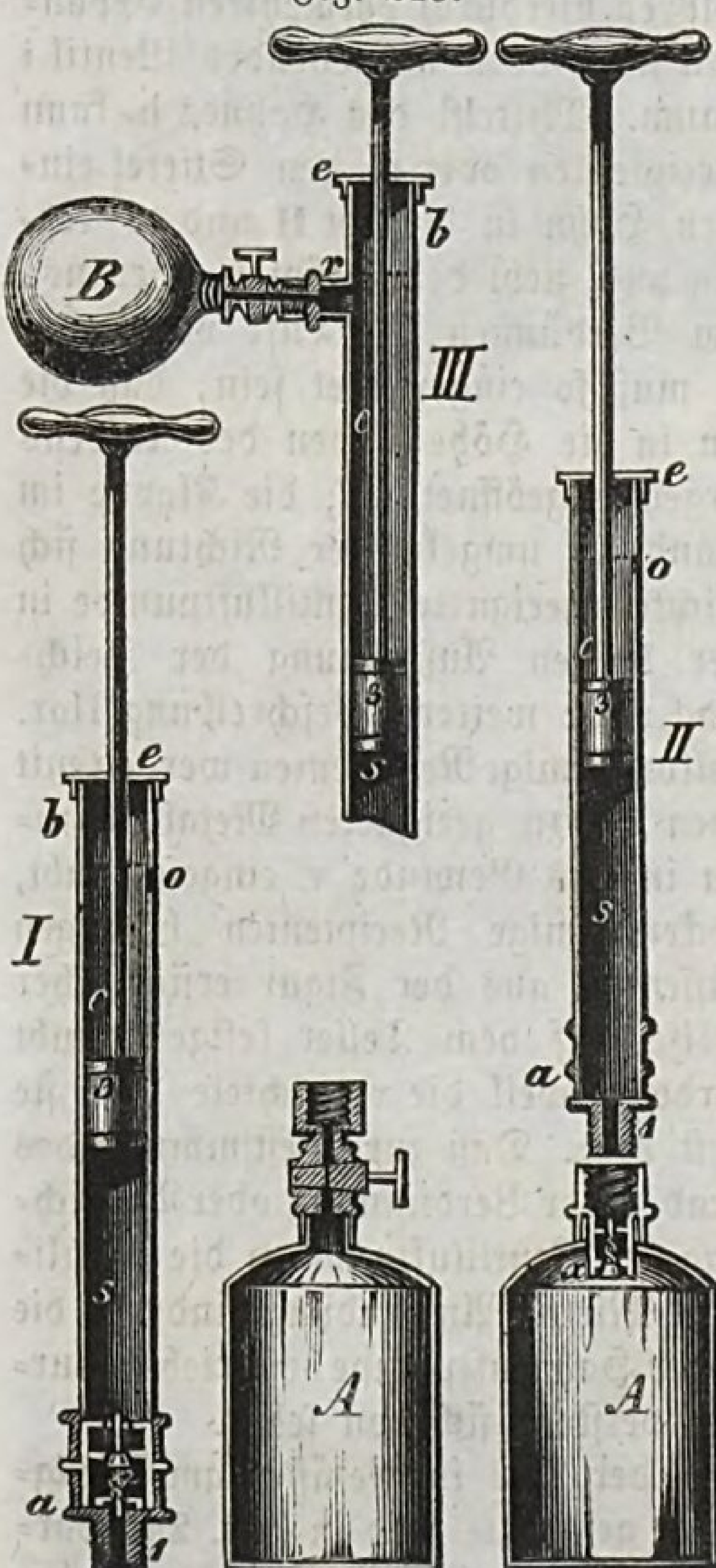


Ballonförmige Recipienten werden mit ihren hierzu geeigneten Metallfassungen in das Gewinde v eingeschraubt, glockenförmige Recipienten hingegen müssen in aus der Figur ersichtlicher Weise auf dem Teller festgeschraubt werden, weil die verdichtete Luft sie sonst hebt. Daß zur Bestimmung des Grades der Verdünnung oder Verdichtung bei Ventilluftpumpen die nämlichen Mittel Anwendung finden, die bei der Hahnluftpumpe beschrieben wurden, versteht sich von selbst.

Der einfachste und deswegen zum Verdichten der Luft in Gefäßen am häufigsten gebräuchliche Apparat ist die vorzugsweise so genannte und in Fig. 248 dargestellte Compressionspumpe. Sie besteht aus einem hohlen Cylinder c, gewöhnlich von 1—2 Fuß Länge und ⅓—1 Zoll Weite (ein Stück eines Flintenlaufes eignet sich meistens recht gut dazu), der an dem einen Ende a ein Schraubengewinde 1 und ein von innen nach außen sich öffnendes Ventil 2 hat, und in

welchem sich ein massiver Kolben 3 mittelst Kolbenstange und Handgriff luftdicht von einem Ende zum andern hin und her bewegen läßt. Am Ende b befindet sich ein Widerhalt oder ein Deckel e, der das Hinaustreten des Kolbens aus dem Cylinder verhindert, und in einer Entfernung von diesem Widerhalt, die nur etwas weniges größer ist als die Länge des Kolbens, befindet sich eine Seitenöffnung o angebracht. Soll nun die Luft in einem Gefäße **A** comprimirt werden, so muß dieses so eingerichtet sein, daß sich daran das Ende **a** der Compressionspumpe festschrauben läßt. Ist dieses geschehen, und es wird der Kolben in die bei **b** punktirt angedeutete Stellung emporgezogen, so füllt sich, sobald der Kolben über der Oeffnung o angelangt ist, der von demselben zurückgelassene leere Raum **s** durch die Oeffnung o von außen her mit Luft. Bewegt man jetzt den Kolben gegen **a**, so treibt dieser, wenn er die Oeffnung **o** passirt und so außer Communication mit dem Raume **s** gesetzt hat, die Luft aus **s** durch das Ventil 2 in das Gefäß **A**. Wird hierauf der Kolben abermals in die punktirte Stellung bei **b** gezogen, so dringt durch **o** eine neue Menge Luft von außen her nach **s**, (denn der Luft in **A** verwehrt das in der Richtung von **a** gegen **b** hin sich schließende Ventil 2 den Eintritt in den leeren Raum **s**) diese wird bei abermaliger Bewegung des Kolbens nach **a** hin wieder in das Gefäß **A** hineingepreßt und es kann so durch fortgesetztes Hin- und Herbewegen des Kolbens die Luft in dem Gefäße **A** immer stärker verdichtet werden. Soll die mittelst der Compressionspumpe erzielte Verdichtung in dem Gefäße **A** auch nach Abschrauben der Compressionspumpe fortbestehen, so muß es mit einem Hahne versehen sein und dieser vor Abschrauben der Pumpe gesperrt werden, oder die Mündung des Gefäßes **A** muß (wie bei **II** Fig. 248) ein von innen nach außen sich schließendes Ventil **x** enthalten. Ist letzteres der Fall, so kann (wie bei **II**) an der Compressionspumpe das Ventil 2 fehlen, indem dessen Zweck (aus **A** keine Luft nach **s**, wohl aber umgekehrt Luft aus **s** nach **A** gelangen zu lassen) durch das Ventil **x** selbst vollkommen erfüllt wird. Damit die Compressionspumpe auch zum Verdichten anderer Gase dienen könne, gibt man ihr anstatt der bloßen Seitenöffnung o eben daselbst eine kleine, äußerlich mit einem Schraubengewinde versehene Ansatzröhre **r** (man sehe **III** Fig. 248). Wird diese mit einem das zu comprimirende Gas enthaltenden Behältnisse **B** in luftdichte Verbindung gesetzt (z. B. bei **r** eine mit Metallfassung und Sperrhahn versehene und das betreffende Gas enthaltende Thier- oder Kautschukblase angeschraubt und der Sperrhahn nachher geöffnet), so füllt sich bei jedem Zuge des Kolbens nach **b** der Raum **s** mit Gas aus **B** und dieses wird durch den gegen **a** hin sich bewegenden Kolben in das Gefäß **A** hineingepreßt.

Fig. 248.



Die Dichte d der comprimirten Luft nach einer gewissen Anzahl n Kolbenstöße an einer zum Comprimiren eingerichteten Luftpumpe oder an einer Compressionspumpe ist unter der Voraussetzung, daß weder neben dem Kolben noch durch die Schrauben, Ventile u. s. w. Luft ent-

welche, offenbar durch die Gleichung $d = \frac{V + nv}{V}$ gegeben, wenn die Dichte der äußern Luft = 1 gesetzt wird und V das Volum des Behälters, worin man die Luft comprimirt und v den Rauminhalt des Pumpenstiefels nach Abzug des Raumes, den der Kolben einnimmt, vorstellt. Denn offenbar wächst mit jedem Kolbenstoße dem ursprünglich im besagten Behälter vorhanden gewesenen Luftquantum ein Luftvolum v zu; es ist mithin nach n Kolbenstößen das in dem Behälter vorhandene Luftquantum = V + nv und die Dichte d nach n Kolbenstößen übertrifft offenbar jene vor irgend einem Kolbenstoße eben so oftmal, als das im ersteren Falle im Behälter enthaltene Luftquantum V + nv jenes im letzteren Falle darin enthaltene Quantum V übertrifft.

133. Grenze der durch die beschriebenen Pumpen erzielbaren Verdünnung oder Verdichtung der Luft. Mittelst einer Luftpumpe läßt sich auch bei noch so langer Fortsetzung ihres Spieles nie ein ganz luftleerer Raum erzeugen, oder mit andern Worten, es läßt sich die Luft aus einem Recipienten nie ganz entfernen, sondern darin immer nur mehr oder weniger verdünnen. Denn bei jedem Kolbenzuge wird von der in dem Recipienten enthaltenen Luftmenge immer nur ein Bruchtheil entfernt (z. B. die Hälfte, wenn der Rauminhalt des Stiefels dem Rauminhalte des Recipienten sammt dem diesen mit dem Stiefel verbindenden Kanal gleich ist), der Ueberrest bleibt im Recipienten zurück, so daß die ursprüngliche Luftmenge des letzteren durch die nacheinander folgenden Kolbenzüge allmälig wohl auf immer kleiner werdende Bruchtheile (in dem gewählten Beispiele auf $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$, $^1/_{16}$, $^1/_{32}$, u. s. f.) vermindert, nie aber auf Null reducirt, also dem Gesagten zu Folge durch das Spiel einer Luftpumpe allein kein völlig luftleerer Raum erzeugt werden kann*). Es hat jedoch den Anschein, als könnte man, wenn nur die Luftpumpe lang genug in Wirksamkeit erhalten wird, die Verminderung (Verdünnung) der Luft im Recipienten beliebig weit treiben, so daß die zuletzt darin noch zurückbleibende Luftmenge weniger beträgt, als jeder noch so

*) Unter Zuhilfenahme eines chemischen Mittels kann durch die Luftpumpe ein vollkommen leerer Raum (Vacuum) durch folgendes, von Andrews in Belfast angegebenes Verfahren hergestellt werden. Man bringt in den Recipienten der Luftpumpe zwei offene Gefäße, am besten das eine über das andere; das untere enthält concentrirte Schwefelsäure, das obere eine dünne Schichte von Aetzkalilauge, die durch Einsieden frisch concentrirt worden. Auf die Mengen dieser Flüssigkeiten kommt es nicht genau an, nur sind sie so zu wählen, daß die Schwefelsäure die Kalilauge vollkommen einzutrocknen vermag, ohne dadurch an Concentration bedeutend zu verlieren und daß sie vermöge nicht zu großer Oberfläche dieses Eintrocknen erst in 5—6 Stunden vollendet. Hat man die Luft im Recipienten bis auf 0·5, höchstens 0·3 Zoll Quecksilberhöhe (der Barometerprobe) verdünnt, so schließt man denselben auf dem Luftpumpenteller ab (zu welchem Ende unter diesem ein Hahn vorhanden sein muß, wie dies in der Fig. 240 und überhaupt an einer Luftpumpe immer dann der Fall ist, wenn man den Teller mit dem aufstehenden Recipienten von dem zum Luftpumpenstiefel führenden Kanal (d Fig. 241) abschrauben, auf einem passenden Untersatze zur Seite stellen, und durch einen andern ersetzen will, um zu irgend einem Zwecke die im Recipienten erzeugte Verdünnung beliebig lang zu unterhalten und doch an dem anderweitigen Gebrauch der Luftpumpe nicht gehindert zu sein), und setzt mit Hilfe einer geeigneten Vorrichtung den Stiefel und den besagten Kanal (d) in Communication mit einem Gasometer, welcher sorgfältig bereitete, von atmosphärischer Luft völlig freie Kohlensäure enthält. Nachdem aus den Verbindungsröhren durch abwechselndes Auspumpen (mit der Luftpumpe) und Hineinlassen von Kohlensäure alle Luft entfernt worden, wird der Hahn unter dem Teller wieder geöffnet, in den Recipienten Kohlensäure eingelassen und dann abermals schnell bis auf 0·5 Zoll Quecksilber ausgepumpt. Wünscht man ein sehr vollkommenes Vacuum, so wiederhole man diese Operation, und wenn äußerste Genauigkeit erforderlich ist, noch ein drittes Mal. Ueberläßt man hernach den Apparat sich selbst, so wird die Menge Kohlensäure, die im Recipienten nach durch diese Säure bewirkter Verdrängung der atmosphärischen Luft daraus, zurückgeblieben ist, von der Kalilauge absorbirt und der aus dieser bei ihrem allmäligen Eintrocknen aufsteigende Wasserdampf wird durch Absorbtion von Seite der Schwefelsäure entfernt; im Recipienten bleibt also ein vollkommenes Vacuum zurück.

kleine Bruchtheil des ursprünglich vorhanden gewesenen Luftquantums. Aber auch dies ist nicht der Fall, es gibt vielmehr eine Grenze, über welche hinaus sich die Luft nicht mehr weiter verdünnen läßt, und diese Grenze wird dadurch gesetzt, daß bei der Bewegung des Kolbens gegen den Boden des Stiefels aus diesem nie alle (vorher aus dem Recipienten dahin gelangte) Luft in die Atmosphäre hinaus getrieben werden kann. Es bleibt nämlich, wenn der Kolben schon ganz am Boden des Stiefels ansteht, zwischen dem Kolben und dem Hahne (m Fig. 241) oder dem Ventile (a Fig. 246), wodurch der zum Recipienten führende Kanal abgesperrt ist, immer ein kleiner Raum, der **schädliche Raum** genannt, übrig, der durch den Kolben nicht ausgefüllt wird und welcher, da er (durch den eben erwähnten Hahn m oder das Ventil a in Fig. 246) mit der äußeren Atmosphäre communicirt, etwas Luft von der Dichte der äußern Atmosphäre enthält. Diese Luft bleibt auch, nachdem die Communication zwischen dem Stiefel und der äußeren Atmosphäre aufgehoben worden, im schädlichen Raume zurück, verbreitet sich jedesmal, so oft der Kolben vom Boden gegen das offene Ende des Stiefels gezogen wird, in diesem, noch bevor die Luft aus dem Recipienten dahin gelangen kann, und wird dadurch so vielmal dünner, als das Volum V des Stiefels sammt dem Volum v des schädlichen Raumes dieses letztgenannte Volum übertrifft, so daß der Bruch $\frac{V+v}{v}$ anzeigt, wie vielmal geringer als die Dichte der äußeren Atmosphäre die Dichte d der jetzt den Stiefel erfüllenden (aus dem schädlichen Raum dahin gelangten) Luft ist. So lange nun die Dichte der Luft im Recipienten größer ist als die Dichte d, muß bei jedem Kolbenzuge noch Luft aus dem Recipienten in den Stiefel dringen, die Verdünnung im Recipienten also immer noch zunehmen. Ist die Luft in diesem aber endlich so dünn geworden, wie die aus dem schädlichen Raume in den Stiefel getretene (d. i. im Verhältniß zur äußeren Atmosphäre so vielmal dünner als das Volum v des schädlichen Raumes in dem Volum V des Stiefels sammt dem schädlichen Raume v enthalten ist), so kann, da jetzt die Luft im Stiefel und im Recipienten die nämliche Dichte und Expansivkraft besitzt, keine Luft aus dem letzteren in den ersteren mehr übertreten, die Verdünnung also nicht mehr weiter getrieben werden. Es läßt sich demnach mittelst einer Luftpumpe die Luft in einem Recipienten höchstens so oftmal verdünnen (dünner machen als die atmospärische Luft), als das Volum v des schädlichen Raumes in dem um dieses Volum vermehrten Rauminhalt des Stiefels enthalten ist, so daß also $\frac{V+v}{v}$ die Grenze der mit einer Luftpumpe erreichbaren Verdünnung angibt und daher mit einem solchen Apparat die Luft desto stärker verdünnt werden kann, je kleiner bei demselben der schädliche Raum im Verhältniß zum Rauminhalte des Stiefels ist.

So wie der Verdünnung wird auch der mittelst einer Luft- oder Compressionspumpe erzielbaren Verdichtung durch den schädlichen Raum eine Grenze gesetzt. Die Verdichtung kann nämlich immer nur so weit getrieben werden, bis die Dichte der Luft im Recipienten so groß geworden, als die Dichte d, welche die den Stiefel erfüllende Luft (von der Dichte der äußeren Atmosphäre) durch Zusammendrücken in den schädlichen Raum erlangt. Um dieses einzusehen, denke man sich, der Stiefel sei mit (darin abgesperrter) Luft von der Dichte der äußeren Atmosphäre gefüllt, diese Luft werde durch Einschieben des Kolbens in den schädlichen Raum zusammengepreßt, dieser enthalte jetzt Luft von gleicher Dichte (und Expansivkraft) mit jener im Recipienten und es werde die Absperrung des schädlichen Raumes vom Recipienten aufgehoben, so kann keine Luft aus ersterem in den letzteren übergehen, in diesem also keine weitere Verdichtung stattfinden; denn ein solcher Uebergang ist nur möglich, so lange die Dichte (und Expansivkraft) der Luft im schädlichen Raume

größer als im Recipienten ist. Wird jetzt die Absperrung wieder hergestellt, zugleich der Stiefel mit der äußeren Atmosphäre in Communication gesetzt und der Kolben vom Boden des Stiefels zurückgezogen, so kann von außen keine Luft in den Stiefel eindringen; denn vor Allem verbreitet sich in demselben die Luft aus dem schädlichen Raume, erhält hiedurch wieder einerlei Dichte mit der äußeren Luft und tritt mit dieser ins Gleichgewicht, so daß weder von außen in den Stiefel noch umgekehrt aus dem Stiefel in die äußere Atmosphäre Luft übergehen kann. Schiebt man jetzt nach abermaliger Absperrung des Stiefels den Kolben gegen dessen Boden, so wird die im Stiefel enthaltene Luft wieder in den schädlichen Raum zusammengedrückt, erlangt hiedurch, wie vorher, eine gleiche Dichte mit der Luft im Recipienten, es kann nach Herstellung der Communication beider Räume in den Recipienten wieder keine Luft eintreten, die Dichte darin also nicht vermehrt werden u. s. f. Es ist demnach die Verdichtung, welche die den Stiefel erfüllende (mit der äußeren Atmosphäre gleich dichte) Luft erfährt, wenn man sich dieselbe in den schädlichen Raum zusammengedrückt denkt, die Grenze, welche mittelst einer Luft- oder Compressionspumpe nie überschritten werden kann, und welche, wenn **V** oder v die vorn angegebenen Bedeutungen haben, $= \frac{V + v}{v}$ ist. Hieraus folgt, daß auch die Verdichtung mittelst der genannten Pumpen zu einem desto höheren Grad getrieben werden kann, je kleiner der schädliche Raum im Verhältnisse zum Rauminhalte des Stiefels ist. Es läßt sich daher bei einer Compressionspumpe durch entsprechende Vergrößerung des schädlichen Raumes leicht bewirken, daß man mittelst derselben die Luft nicht über einen bestimmten Grad hinaus verdichten kann, was in allen Fällen wünschenswerth ist, wo es darauf ankömmt, zu verhüten, daß die betreffenden Gefäße durch zu weit getriebene Verdichtung der Luft darin zerspringen.

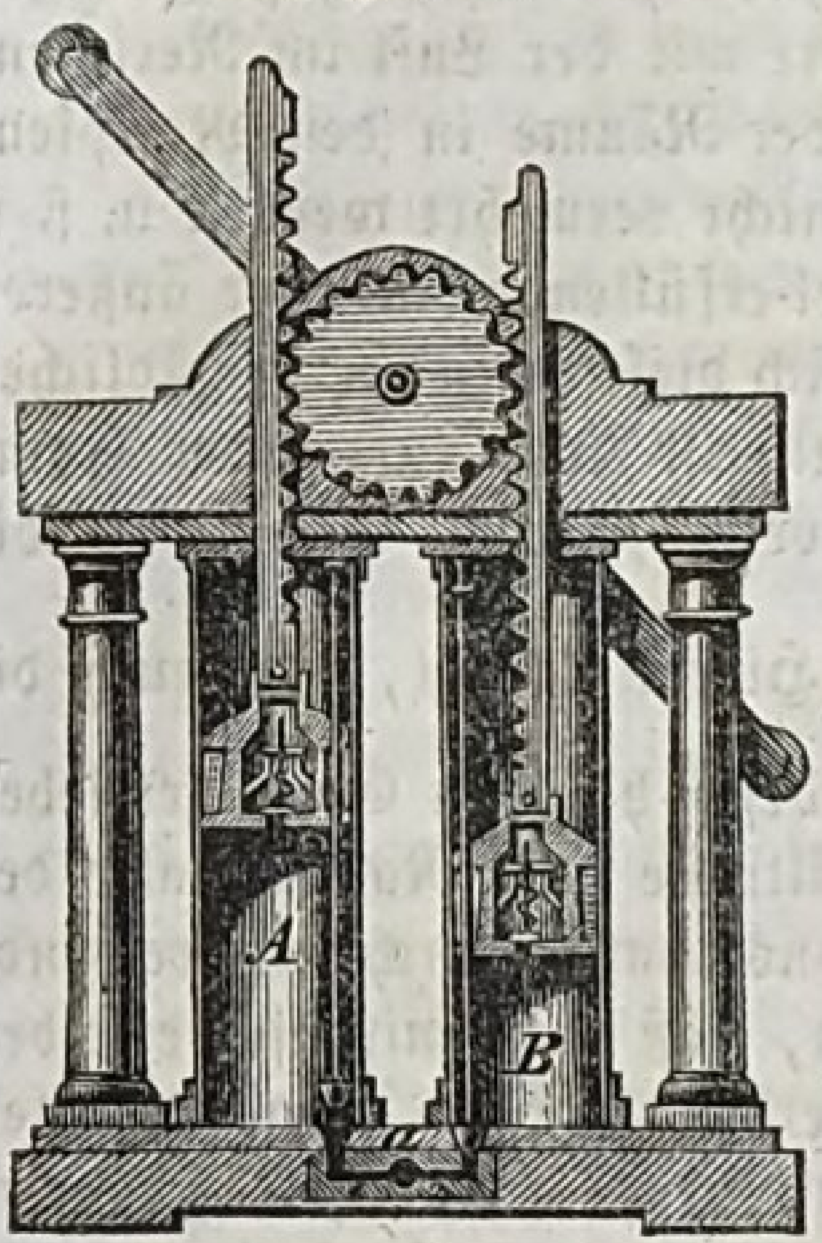
Da, wie im Vorstehenden gezeigt worden, eine Luft- oder Compressionspumpe desto bessere Wirkung thut, je kleiner unter sonst gleichen Umständen ihr schädlicher Raum ist, so muß bei der Construction dieser Apparate für möglichste Verminderung dieses Raumes gesorgt werden, weswegen bei Hahnluftpumpen der Hahn am zweckmäßigsten seinen Platz möglichst nahe am Boden des Stiefels und der Kolben an der untern Fläche eine solche Gestalt (z. B. wie in Fig. 241 und 242) erhält, daß er den Raum bis an den Hahn hin so vollständig als möglich ausfüllt. Bei Luft- oder Compressionspumpen mit Ventilen ist aus gleichem Grunde dafür Sorge zu tragen, daß die obere Fläche des Ventils, welches den zum Recipienten führenden Kanal schließt, mit der innern Bodenfläche des Stiefels in eine Ebene fall; daß der Kolben an diese Bodenfläche überall sich innigst anschließe, und daß bei den Luftpumpen mit einem Kolbenventile (Fig. 246) die äußere Fläche dieses Ventils so viel möglich mit der untern Kolbenfläche zusammenfalle.

4. Die zweistieflige zum Verdünnen eingerichtete Ventilluftpumpe *). Einstieflige Luftpumpen verdünnen die Luft im Recipienten nur während sich der Kolben vom Boden des Stiefels entfernt, während der entgegengesetzten Bewegung des Kolbens wird blos die aus dem Recipienten in den Stiefel übergegangene Luft aus diesem in die Atmosphäre hinausgetrieben. Hat aber die Luftpumpe, wie in Fig. 249, zwei Stiefeln, es wird abwechselnd immer der eine

*) Man hat sowohl zweistieflige Hahn- als Ventilluftpumpen; erstere können zum Verdünnen und zum Verdichten, letztere nur zu dem einen oder dem anderen Zweck gebraucht werden. Da man sich, wie schon an einem andern Orte gesagt worden, in den meisten Fällen zum Verdichten der Compressionspumpe und zum Verdünnen jetzt fast allgemein der Ventilluftpumpen bedient, so soll hier nur von der zweistiefligen Ventilluftpumpe gehandelt werden.

mit dem Recipienten in und der andere gleichzeitig außer Communication gesetzt und den zwei Kolben stets eine entgegengesetzte Bewegung ertheilt, so daß der Kolben in dem mit dem Recipienten communicirenden Stiefel empor und in dem andern nieder geht, so wirkt stets ein Stiefel verdünnend, und man erzielt den nämlichen Verdünnungsgrad in der Hälfte der Zeit, die bei einer Luftpumpe mit nur einem der beiden (gleich großen) Stiefel erforderlich wäre. Die nähere Einrichtung und Wirkung einer zweistiefligen Ventilluftpumpe ist bei Ansicht der Figur 249, die einen vertikalen Durchschnitt durch die Stiefel darstellt, für sich klar.

Fig. 249.



Höchstens dürfte zu erwähnen sein, daß a den Querschnitt des Kanals bedeutet, der die zwei Stiefel durch die Kanäle 1, 2 mit dem vor den Stiefeln zu denkenden (in der Mitte der Tellers festgeschraubten oder auf diesen aufsitzenden) Recipienten in Verbindung setzt. Außer dem besagten Zeitgewinn gewähren doppelstieflige Ventilluftpumpen vor einstiefligen auch noch den Vortheil, daß sie zur Handhabung viel weniger Kraft erfordern, als diese. Es ist nämlich immer beim Emporziehen des Kolbens im Stiefel ein desto größerer Theil des äußeren Luftdruckes zu überwinden, je mehr die Luft im Recipienten bereits verdünnt worden; bei einer zweistiefligen Ventilluftpumpe hilft nun der auch auf den niedergehenden Kolben (unter welchem so lange, bis die Spannkraft der durch ihn comprimirten Luft sein Ventil öffnet, im Verhältniß zur äußern Luft immer Verdünnung herrscht) wirkende Luftdruck zum Theil den Druck überwinden, womit die Luft auf dem emporsteigenden Kolben lastet *).

Der höchste Verdünnungsgrad, welcher sich mit einer zweistiefligen Ventilluftpumpe erzielen läßt, hängt wie bei einer einstiefligen Pumpe dieser Art auch vom Verhältniß der Größe des schädlichen Raumes zum Volum des Stiefels ab. Ist dieses Verhältniß bei beiden Stiefeln nicht das nämliche, so wirken diese nicht gleich stark verdünnend; die Luftpumpe leistet aber immer so viel wie der besser wirkende Stiefel; denn hört auch der eine Stiefel deswegen zu verdünnen auf, weil die beim Einschieben des Kolbens in den schädlichen Raum zusammengedrückte Luft das Kolbenventil nicht mehr zu öffnen vermag, so kann durch diesen Stiefel doch der bis dahin im Recipienten erzielte Verdünnungsgrad nicht mehr vermindert werden, weil das dann immer geschlossen bleibende Ventil im Kolben dieses Stiefels keine Luft von außen her eindringen läßt, und der besser wirkende Stiefel arbeitet so, als wenn er nur allein vorhanden wäre.

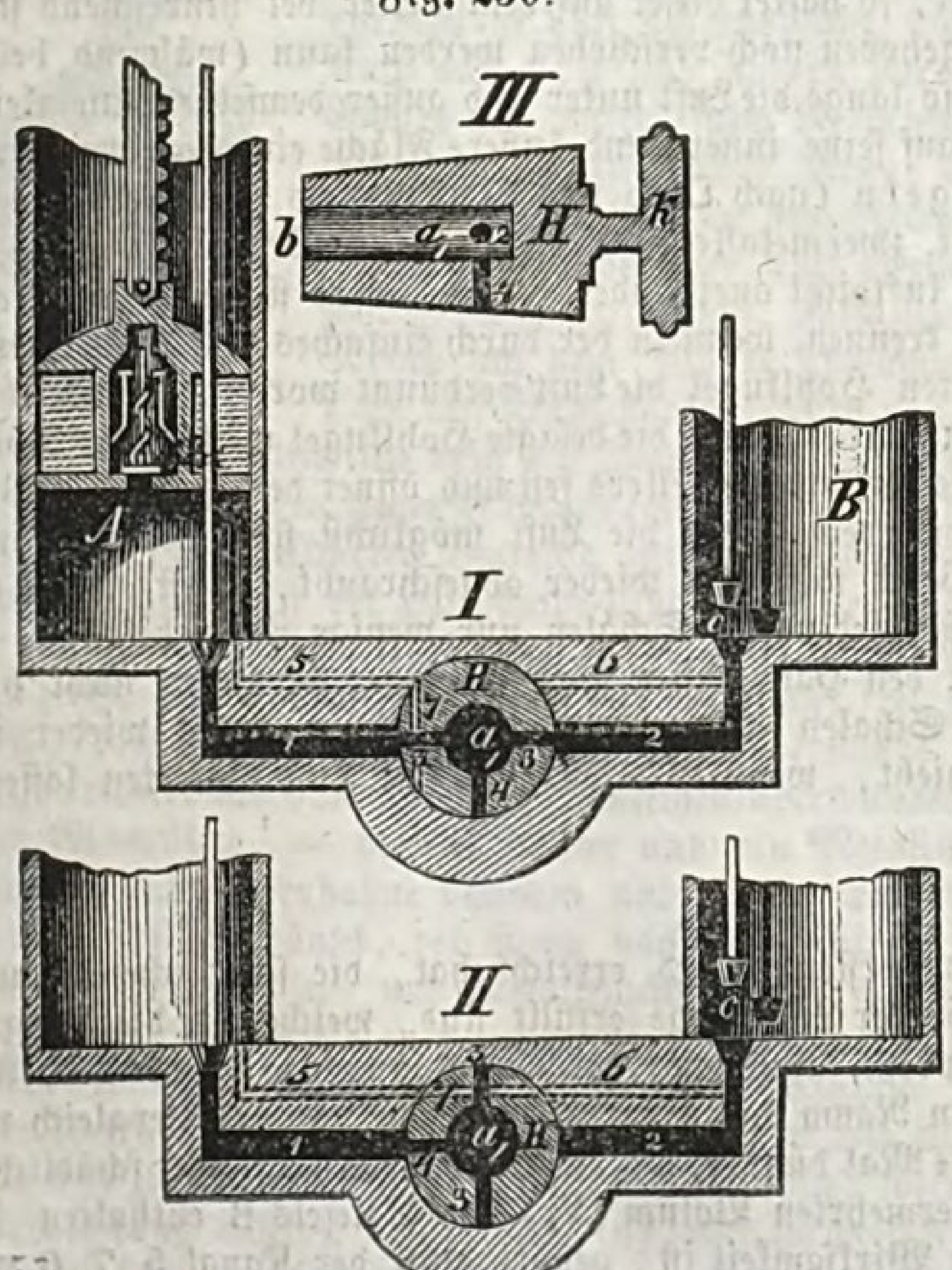
---

*) Bei der doppelstiefligen Hahnluftpumpe — welche, gelegentlich gesagt, von der zweistiefligen Ventilluftpumpe sich nur dadurch unterscheidet, daß die Communication jedes der beiden Stiefel einmal mit dem Recipienten, das andere Mal mit der äußeren Luft, anstatt durch Ventile durch zwei Wechselhähne hergestellt wird, deren jeder ganz so eingerichtet und angebracht ist, wie bei der einstiefligen Hahnluftpumpe, — findet dieser Vortheil nicht statt, weil bei derselben, noch bevor ein Kolben niederzugehen anfängt, der Stiefelraum unter diesem Kolben durch Drehen des betreffenden Hahnes immer schon mit Luft von der äußern Dichte angefüllt worden (und auch während der ganzen Niederbewegung des Kolbens angefüllt bleibt), daher dieser nach auf- und nach abwärts einen gleichen Luftdruck erfährt. Daß die zwei Hähne einer doppelstiefligen Hahnluftpumpe gleichzeitig immer um 90° verschiedene Stellungen erhalten müssen, so daß der eine die Stellung I (Fig. 241) hat, wenn sich der andere in der Stellung II derselben Figur befindet (und umgekehrt), und daß dies mittelst einer ähnlichen Steuerungsvorrichtung wie an der einstiefligen Luftpumpe (Fig. 245) leicht geschehen könne, versteht sich von selbst.

Eine sehr wichtige Verbesserung haben zweistieflige Ventilluftpumpen durch eine von Babinet erdachte, sinnreiche Vorrichtung erfahren, welche die Erzielung eines vorher durch Luftpumpen nie erreichbar gewesenen Grades der Verdünnung möglich macht und darin besteht, daß an der Stelle, wo die Arme 1, 2 (Fig. 249) des Verbindungskanals der beiden Stiefel sich in dem zum Recipienten führenden Kanal a vereinigen, ein Hahn angebracht ist, welcher bei einer gewissen Stellung gestattet, daß (so wie dies bei einer gewöhnlichen zweistiefligen Ventilluftpumpe geschieht) beide Stiefel abwechselnd Luft aus dem Recipienten aufnehmen, bei einer um 90° geänderten Stellung aber den einen Stiefel ganz von dem Recipienten absperrt und zugleich beide Stiefel unter einander in Verbindung setzt, so daß dann der eine Stiefel aus dem Recipienten, der andere hingegen aus diesem Stiefel Luft aufnimmt. Zur näheren Erläuterung der Babinet'schen Verbesserung und ihrer Leistung dient die Fig. 250, welche im vertikalen Durchschnitt eine Ventilluftpumpe mit dem Babinet'schen Hahne in den zwei vorerwähnten Stellungen zeigt. Dieser Hahn **H** ist im auf seiner Länge senkrechten Durchschnitte dargestellt, und bei **III** sieht man auch einen Längendurchschnitt dieses Hahnes, wenn er sich in der Stellung **I** befindet. a_1 ist eine längst seiner Axe gehende Bohrung, deren hinteres Ende b sich an den zum Recipienten führenden Kanal a (Fig. 249) anschließt, während in ihr vorderes (gegen den Handgriff **k** gelegenes) Ende die Querbohrungen 3, 3 und 4 einmünden, welche mit den Kanälen 1, 2 in einer und derselben Vertikalebene liegen. 5, 6 ist ein (bei der Stellung **I** des Hahnes durch diesen unterbrochener) Kanal, der sich einerseits in den Stiefel **A**, andererseits aber in den zum Stiefel **B** führenden Kanal 2 öffnet, und welcher nicht in der die Kanäle 1, 2 enthaltenden Vertikalebene, sondern hinter oder vor (wir wollen annehmen vor) derselben liegt. Die punktirte Querbohrung 7 im Hahne hebt, wenn dieser in die Position **II** gebracht wird, die Unterbrechung des Kanals 5, 6 auf.

Befindet sich nun der Hahn **H** in der Stellung **I**, so tritt (bei Handhabung der Pumpe) der Recipient abwechselnd mit beiden Stiefeln in Communication und die Luft kann wie mit einer gewöhnlichen zweistiefligen Ventilluftpumpe bis zu der durch den schädlichen Raum gesteckten Grenze verdünnt werden. Hat man diese Grenze erreicht (was dann der Fall sein wird, wenn das Quecksilber in der Barometerprobe seinen Stand nicht mehr ändert), und man dreht jetzt den Hahn in die Stellung **II**, wo der Recipient außer Communication mit dem Stiefel **B** gesetzt, aber zwischen diesem und dem Stiefel **A** eine Verbindung durch den Kanal 5, 6 und die Hahnbohrung 7 hergestellt ist, so wird bei fortgesetztem Spiel der Pumpe die Verdünnung noch weit über die besagte Grenze hinaus getrieben werden. Geht nämlich (nach Drehung des Hahnes in die Stellung **II**) der Kolben im Stiefel **A** nieder, so wird die diesen Stiefel erfüllende Luft nicht mehr (wie vor der eben erwähnten Hahndrehung) in dessen

Fig. 250.



schädlichem Raume (sehr nahe) zur Dichte der äußern Atmosphäre zusammengedrückt, sondern durch den Kanal 5, 7, 6 in den Stiefel **B** hinübergetrieben, und wenn dann beim Niedergange des Kolbens in **B** das Ventil c sich schließt, so bleibt im schädlichen Raume von **A** Luft weit geringerer Dichte als die atmosphärische zurück *). Steigt dann der Kolben im Stiefel **A** wieder empor, so verbreitet sich in diesen die in seinem schädlichen Raume zurückgebliebene dünne Luft, erhält dadurch eine viel geringere Dichte als die Luft im Recipienten, es muß daher von dieser wieder in den Stiefel **A** übergehen, also im Recipienten neuerdings Verdünnung stattfinden, und es wird bei fortgesetztem Spiel der Kolben die Verdünnung bis zu einer neuen Grenze getrieben werden, welche weit über jene hinausgeht, die ohne Babinet'schen Hahn erreicht werden kann. Die Luft, welche aus dem Stiefel **A** in den Stiefel **B** hinüber getrieben wird, entweicht beim Niedergange des Kolbens in **B** durch das Ventil des Kolbens.

Gesetzt, es sei $\frac{V_1}{v_1} = 100$, so ist die Luft, die, wenn der Kolben im Stiefel A emporzusteigen beginnt, den schädlichen Raum dieses Stiefels erfüllt, 100mal dünner als die atmosphärische und wird (da man den eben besagten schädlichen Raum wegen gleicher Größe beider Stiefel ebenfalls sehr nahe 100mal kleiner als die Summe dieses Raumes und des Volums des Stiefels A annehmen kann), indem sie sich in diesen Stiefel ausbreitet, noch 100mal, also im Ganzen $100 \times 100 = 10000$mal dünner als die atmosphärische Luft, und dies ist die Grenze der mit Hilfe des Babinet'schen Hahnes erzielbaren Verdünnung, während die nämliche Pumpe ohne Mitwirkung des Hahnes nur beiläufig eine 100malige Verdünnung gestattet. Eine gute Ventilluftpumpe mit der Babinet'schen Verbesserung bringt das Quecksilber in der Barometerprobe leicht bis auf $1/_2$, ja selbst bis auf $1/_4$ Linie hinab, wo hingegen mit guten Luftpumpen gewöhnlicher Construction (ohne Babinet's Hahn) selten ein Quecksilberstand unter 1 Linie erreicht wird, so daß erstere Luftpumpen eine 600—1200, letztere aber nur eine 300 bis 400malige Verdünnung gestatten.

Einige der vielen instructiven Versuche, die sich mittelst der Luftpumpe anstellen lassen. (Mehrere andere derlei Versuche können erst in der Folge besprochen werden.)

1. Versuche, die den Druck der Luft darthun. a) Wird die Luft unter dem glockenförmigen Recipienten (R) verdünnt, so haftet dieser auf dem Teller bei hinreichend starker Verdünnung so fest, daß er weder abgehoben noch verschoben werden kann (während beides sich mit Leichtigkeit bewerkstelligen läßt, so lange die Luft unter und außer demselben eine gleiche Dichte und Ausdehnsamkeit besitzt, somit auf seine innere und äußere Fläche einen gleichen Druck übt. b) Die Guericke'schen Halbkugeln (nach Otto von Guericke's Wohnort auch die Magdeburg'schen Halbkugeln genannt), d. i. zwei metallene, halbkugelförmige Schalen (Fig. 251), deren Ränder r luftdicht aneinander passen, lassen sich nur durch eine bedeutende Kraft trennen, wenn in der durch einfaches Aufeinandersetzen derselben gebildeten Hohlkugel die Luft verdünnt worden. Zum Behufe dieser Verdünnung schraubt man die besagte Hohlkugel mittelst der Röhre c in der Mitte des Luftpumpentellers fest und öffnet den Hahn h. Wird die Hohlkugel, nachdem darin die Luft möglichst stark verdünnt und der Hahn h gesperrt worden, wieder abgeschraubt, so ist, wenn der größte Durchmesser jeder der Schalen nur wenige Zolle beträgt, die Kraft zweier an den Handgriffen 1, 2 ziehender Menschen nicht hinreichend, diese Schalen von einander zu reißen (was wieder mit Leichtigkeit geschieht, wenn man durch h hat Luft eintreten lassen).

Fig. 251.



*) Da, wenn der Kolben in A seinen untersten Stand erreicht hat, die schädlichen Räume beider Stiefel und der Stiefel B von der Luftmenge erfüllt sind, welche, in die besagten zwei schädlichen Räume zusammengepreßt, atmosphärische Dichte besitzt, so ist die nach Absperrung der Klappe c im schädlichen Raum von A zurückgebliebene Luft im Vergleich mit der atmosphärischen (sehr nahe) so oft Mal dünner, als die Summe (v_1) der zwei schädlichen Räume in dem um diese Räume vermehrten Volum (V_1) des Stiefels B enthalten ist. (Wenn der Babinet'sche Hahn in Wirksamkeit ist, gehört auch der Kanal 5, 7, 6 zum schädlichen Raum des Stiefels A.)

c) Wird unter einem cylindrischen Recipienten (am besten von Metall), der oben durch eine mittelst Talg aufgepaßte, ebene Glastafel, oder durch eine darübergebundene Thierblase luftdicht geschlossen ist, die Luft verdünnt; so wird die Glastafel oder die Thierblase durch den überwiegenden Druck der äußeren Luft zersprengt (eingedrückt). d) Das Quecksilber in einem Barometer, das sich unter einem (entsprechend hohen) Recipienten befindet, fällt desto mehr, je stärker in diesem die Luft verdünnt wird (hiedurch erhält die vorn S. 233 gegebene Erklärung des Torricelli'schen Versuches eine neue Bekräftigung). e) Ist der glocken- oder cylinderförmige Recipient (auf dem Luftpumpenteller) oben mit einem Becher versehen, der einen Boden von Holz hat und Quecksilber enthält, so wird dieses bei Verdünnung der Luft unter den Recipienten von der äußeren Luft durch das Holz gedrückt (Quecksilberregen).

2. Versuche, welche die Ausdehnsamkeit der Luft, d. i. ihr beständiges Streben, sich in einen größeren Raume auszubreiten, anschaulich machen (indem sie zeigen, daß die Luft sich wirklich desto mehr ausdehnt, je mehr der von außen auf sie einwirkende, ihre Ausdehnung hemmende Druck vermindert oder bei gleichbleibender Größe dieses Druckes ihre Dichte und Ausdehnsamkeit vergrößert wird). f) Eine fest zugebundene, nur wenig Luft enthaltende und deswegen schlaffe Thierblase schwillt unter dem glockenförmigen Recipienten in dem Maße mehr an, als unter diesem die Luft stärker verdünnt wird. Bei hinreichend starker Verdünnung zerplatzt die Blase. g) Wird ein Luft enthaltendes, mit der Mündung unter Wasser tauchendes Gefäß unter den glockenförmigen Recipienten gebracht und die Luft in diesem letzteren verdünnt; so verläßt ein Theil der (in einen größeren Raum sich ausbreitenden) Luft das Gefäß und man sieht ihn in Blasen durch das Wasser entweichen. Läßt man hierauf wieder äußere atmosphärische Luft in den Recipienten eintreten, so treibt diese so lange Wasser in das Gefäß, bis die darin zurückgebliebene Luft durch Zusammendrücken in einen kleineren Raum mit der äußeren Luft auf gleiche Dichte gebracht worden. h) Wird ein Heronsball, d. i. ein (gewöhnlich) kugelförmiges Gefäß A Fig. 252, in dessen

Fig. 252.



Mündung luftdicht eine enge, bis nahe an den Boden reichende, beiderseits offene und oben meistens mit einem Hahn verschließbare Röhre a eingesetzt ist, zum Theil mit Wasser gefüllt, unter den Recipienten der Luftpumpe gebracht und die Luft in diesem verdünnt, so macht die über dem Wasser (in b) eingeschlossene Luft, indem sie sich ausdehnt, das Wasser oben herausspritzen. i) Aus Wasser, Wein, Bier und anderen Flüssigkeiten entwickeln sich unter dem Recipienten der Luftpumpe bei stattfindender Verdünnung unzählige Luftblasen (indem die in den Poren dieser Flüssigkeiten vorhandene Luft sich ausdehnt, somit zum Theil die Poren verlassen muß). Auch aus Holz und andern porösen Körpern sieht man, wenn sie sich in Wasser und unter einem Recipienten befinden, in welchem die Luft verdünnt wird, eine große Menge Luftblasen aufsteigen. Läßt man nachher wieder äußere Luft in den Recipienten eintreten, so drückt diese an die Stelle der entwichenen Luft Wasser in die Poren der erwähnten Körper, so daß dieses im Gefäße auffallend sinkt und manche dieser Körper, die vorher auf dem Wasser schwammen, jetzt darin untersinken, wie dies z. B. mit Buchenholz, Nüssen u. s. w. der Fall ist. Das Nämliche gelingt, wie mit Wasser, natürlich auch mit andern Flüssigkeiten; man kann so z. B. Hölzer mit Farbebrühen, mit dieselben gegen Fäulniß schützenden Salzlösungen u. s. w. imprägniren. Die unter e) und i) angeführten Versuche liefern zugleich auch einen Beweis für die Porosität der Körper. k) Mittelst der Luftpumpe läßt sich ferner zeigen, daß alle Körper gleich schwer sind, daher mit gleicher Schnelligkeit zu Boden zu fallen suchen (man sehe **15** und **70**), und daß, wenn z. B. ein Stückchen Papier viel langsamer frei herabfällt als ein Stein oder ein Stück Metall, dies seinen Grund blos in dem Widerstande der Luft hat, der von dem Steine oder Metalle leichter als von dem Papierstückchen überwunden werden kann. Wird nämlich in einer langen Glasröhre, — die ein Papier und ein Metallstückchen enthält, mit einer metallenen Fassung sammt Sperrhahne versehen und an der Luftpumpe festgeschraubt worden ist, — die Luft möglichst verdünnt, der Hahn nachher geschlossen, die Röhre abgeschraubt, vertikal gehalten, so daß Papier- und Metallstückchen sich gleichzeitig im untern Ende befinden, und dann rasch gerade in die entgegengesetzte Stellung umgekehrt, so sieht man Papier- und Metallstück darin ganz gleich schnell herabfallen, während, wenn man in die Röhre wieder äußere Luft eintreten läßt, das Papier auffallend hinter dem Metalle zurückbleibt. l) Eine stark aufgeblasene und zugebundene Thier- oder Kautschukblase wird unter dem Recipienten der Luftpumpe bei Verdichtung daselbst viel kleiner. m) Eine im heißen Wasser oder in Aether erweichte Kautschukflasche kann am sichersten dadurch zu einen Ballon von 1—2 Fuß Durchmesser ausgedehnt werden, daß man ihren Hals an einem Hahne eines Recipienten befestigt, worin die Luft stark

verdichtet wird, und daß man mittelst des Hahnes von Zeit zu Zeit solche verdichtete Luft in die Flasche einströmen läßt.

134. Nachweisung der Schwere der Gase und Bestimmung ihres spezifischen Gewichtes und ihrer Dichte mit Hilfe der Luftpumpe. Daß jedes Gas ein Gewicht hat, mithin schwer ist, ergibt sich aus Folgendem. Wird ein mit einem Sperrhahne versehener, mäßig großer Glasballon, nachdem er an der Luftpumpe festgeschraubt und die Luft darin verdünnt worden, abgewogen und sein Gewicht P notirt, man läßt nachher durch den Hahn atmosphärische Luft, oder (etwa aus einer mit dem Ballon in Verbindung gesetzten Thier- oder Kautschukblase) irgend eine andere Gasart in denselben eintreten und wägt ihn jetzt wieder, so zeigt er ein größeres Gewicht P_1. Der Unterschied $P_1 - P$ ist offenbar das Gewicht des in den Ballon eingelassenen Gasquantums.

Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Gase. Nimmt man zu dem eben beschriebenen Versuch einen gläsernen Ballon, dessen inneres Volum V bekannt ist*) und mindestens 250—300 Kub. Zolle beträgt, verdünnt die Luft darin mittelst einer guten Luftpumpe so weit als diese es gestattet (wo man dann den Ballon als nahe luftleer ansehen kann) und bestimmt die Gewichte P und P_1, die der Ballon im luftleeren Zustande und nachdem man irgend eine Luftart in denselben hat eintreten lassen, besitzt, mit einer genauen, empfindlichen Wage; so ist $P_1 - P$ das Gewicht der betreffenden Luftart unter dem Volum V, mithin $\frac{P_1 - P}{V}$ das Gewicht derselben unter dem Volum = 1, d. i. ihr spezifisches Gewicht. Wird auf diesem Wege das spezifische Gewicht s irgend einer Gasart bestimmt, so fällt dieses je nach dem Barometerstande und der Temperatur, bei welchen die Bestimmung geschieht, verschieden groß aus. (Bei höherem Barometerstande muß nämlich das in den luftleer gemachten Ballon eintretende Gas, um sich mit der äußern Luft ins Gleichgewicht setzen zu können, eine größere Dichte annehmen, sein spezifisches Gewicht muß also größer ausfallen, und bei höherer Temperatur wird das den Ballon erfüllende Gas schon bei geringerer Dichte die erforderliche Expansivkraft haben, um dem äußeren Luftdruck das Gleichgewicht zu halten, also während dieses Gleichgewichtsbestandes weniger dicht sein, und ein geringeres spezifisches Gewicht zeigen.) Um nun die spezifischen Gewichte der Gase von diesen veränderlichen Einflüssen unabhängig und unter einander vergleichbar zu machen, reduzirt man das bei irgend einer Temperatur und irgend einem Barometerstande gefundene spezifische Gewicht eines Gases immer auf die Normaltemperatur 0^0 R. und auf einen Normalbarometerstand, als welchen man, nach dem Beispiel französischer Physiker, gewöhnlich eine Quecksilbersäule von 760 Millimeter = 28·851 Wiener Zoll = 28 Wiener Zoll 10·22 Linien Höhe und 0^0 R. annimmt.

Wie sich diese Reduction bewerkstelligen lasse, wird folgende Betrachtung zeigen. Ist S das spezifische Gewicht, welches mittelst des Gasquantums vom Volum V bei der Temperatur T^0 R. und bei dem Barometerstande B gefunden wurde, stellt ferner v das Volum vor, welches dem nämlichen Gasquantum bei der Normaltemperatur 0^0 R. und beim Normalbarometerstand 28,851 Wiener Zoll zukäme, und bedeutet endlich x das dieser Temperatur und diesem Barometerstande entsprechende (d. i. reduzirte) spezifische Gewicht des betreffenden Gases; so hat man offenbar $S : x = v : V$**) und hieraus $x = \frac{SV}{v}$. Substituirt man nun in dieser Gleichung

*) Wie man das Volum des Ballons ermitteln könne, wurde auf S. 14 unter Ad 1) gelehrt.

**) Denn nach der 2. der Gleichungen unter (5) auf S. 29 ist VS das absolute Gewicht des Gasquantums vom Volum V und vx das absolute Gewicht des nämlichen Gasquantums vom Volum v; es ist daher $VS = vx$ und somit $S : x = v : V$.

für v den Werth, den die Formel (100) auf S. 257 gibt, wenn darin $t = 0^0$ R., und anstatt der drückenden Kräfte P und p die Barometerstände B und 28·851 Wiener Zoll (als das Maß dieser Kräfte im vorliegenden Falle) gesetzt wird, so erhält man

$$x = \frac{S(1 + 0·004581\ T)\ 28·851}{B} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (103)$$

Bei Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Gase ist ferner wesentlich, daß sie rein und namentlich von allem Wasserdunste befreit seien, von dem sie immer mehr oder weniger enthalten und der einen großen Einfluß auf ihr spezifisches Gewicht nimmt. Zu diesem Ende läßt man die betreffenden Gase durch eine mit Chlorcalcium (oder einem andern das Wasser gierig an sich ziehenden Körper) gefüllte Röhre in den vorbesagten Ballon eintreten. Bei ganz genauen Bestimmungen muß endlich noch berücksichtigt werden: die kleine Menge Luft, welche mittelst der Luftpumpe aus dem Ballon nicht entfernt werden kann und macht, daß das Volum V, welches von dem in den Ballon eingetretenen Gase erfüllt wird, etwas kleiner ausfällt, als wenn der Ballon völlig luftleer gewesen wäre *); der Einfluß der Temperatur auf die Größe des Ballons und der Gewichtsverlust, welchen dieser (man sehe den nächsten Absatz **135**) in der Luft erleidet. Wie der Temperatureinfluß auf das Volum des Ballons sich in Rechnung bringen lasse, kann erst in der Wärmelehre gezeigt werden; die Bestimmung des eben besagten Gewichtsverlustes des Ballons aber ist die schwierigste und unsicherste der in Rede stehenden Correctionen, weil die Luft in einem Zimmer in Bezug auf Zusammensetzung, Temperatur und Feuchtigkeit und Bewegung in ihr oft augenblicklich Aenderungen erfährt. Zur Umgehung aller dieser Schwierigkeiten äquilibrirt Regnault den betreffenden Ballon an der Wage nicht durch auf die zweite Schale aufgelegte Gewichte, sondern durch einen zweiten Ballon, der hermetisch geschlossen ist, äußerlich dasselbe Volum besitzt wie der erste, an der besagten zweiten Wagschale unten so aufgehangen ist, daß er mit dem ersten in der nämlichen horizontalen Luftschichte schwebt und mithin alle Veränderungen, welche die Luft erfährt, sich genau in gleicher Weise auf beide Ballons erstrecken. Man vermeidet so zugleich auch noch einen andern Fehler, der aus dem Variren der Wassermengen entspringen könnte, welche sich bei den verschiedenen vorzunehmenden Wägungen auf der Oberfläche des hygroskopischen Gasballons verdichten: denn bestehen beide Ballone aus demselben Glase, so sind auch die von ihnen in gleicher Luft verdichteten Mengen Feuchtigkeit gleich und der Einfluß dieser letzteren fällt weg. . . . . (104)

Durch solch ein genaues Verfahren wurde das Gewicht eines Wiener Kubikfußes atmosphärischer Luft bei 0^0 R. und 28·851 Barometerstand = 564 Wiener Gran, mithin das Gewicht eines Wiener Kubikzolles = 0·326 Wiener Gran gefunden, so daß die atmosphärische Luft bei dieser Temperatur und diesem Barometerstande nahe 770mal (genauer 769·44mal) leichter als Wasser ist.

Regnault fand in neuester Zeit (1849) das Gewicht eines Litre's atmosphärischer Luft für Paris, bei 0^0 Temperatur und 760 Millimeter Barometerstand, = 1·293187 Gramme; für einen andern Ort von der geographischen Breite λ und von der Höhe h über der mittleren Erdoberfläche, wenn R den mittleren Erdhalbmesser bedeutet, ist das besagte spez. Gewicht eines Litre's atmos. Luft $= 1·29263$ Gramme $\times \dfrac{1}{1 + \dfrac{2h}{R}}(1 - 0·002837 \cos. 2\lambda)$.

*) Man nimmt auf die beim Verdünnen mit der Luftpumpe im Ballon zurückbleibende kleine Luftmenge Rücksicht, wenn man das Volum (V) des Ballons erst nach erfolgter Verdünnung der Luft darin bestimmt, zu diesem Ende das Wasser oder Quecksilber, womit nach Ad 1) auf S. 14 der Ballon gefüllt werden muß, durch den äußeren Luftdruck hineintreiben läßt, bis die geringe Menge der in dem Ballon zurückgebliebenen Luft auf die Dichte der äußeren gebracht ist, und dann aus dem Gewichte des vom Ballon aufgenommenen Wassers oder Quecksilbers das Volum V berechnet.

Bestimmung der Dichte der Gase. Man vergleicht die Gase in Bezug auf Dichte immer mit der atmosphärischen Luft, deren Dichte man = 1 annimmt, so daß die Dichte eines andern Gases durch die Zahl ausgedrückt wird, welche anzeigt, wie vielmal mehr oder weniger irgend ein Volum dieses Gases wiegt, als ein gleich großes Volum unter gleichen Umständen (d. i. unter gleichem äußeren Drucke und bei gleicher Temperatur) befindlicher atmosphärischer Luft *). Dem zu Folge erhält man die Dichte eines Gases ebenfalls mit Hilfe des vorn besprochenen, an der Luftpumpe anschraubbaren Glasballons (und zwar ohne daß sein inneres Volum bekannt zu sein braucht), indem man den (möglichst) luftleer gemachten Ballon mit dem betreffenden Gase füllt, von dem Gewichte P_1 des gefüllten Ballons das Gewicht P, das er im luftleeren Zustande besaß, subtrahirt und das so gefundene Gewicht $P_1 - P$ des im Ballon enthaltenen Gasquantums durch das Gewicht $P_{11} - P$ dividirt, welches gefunden wird, indem man den abermals luftleer gemachten Ballon bei der nämlichen Temperatur und unter dem nämlichen äußern Druck, unter welchem vorher seine Füllung geschah, mit atmosphärischer Luft füllt und von dem Gewichte P_{11} des so gefüllten Ballons das Gewicht P des leeren abzieht. ($P_1 - P$ und $P_{11} - P$ sind nämlich die Gewichte gleicher Volume des fraglichen Gases und der atmosphärischen Luft bei gleichem äußeren Druck und gleicher Temperatur, mithin ist $\frac{P_1 - P}{P_{11} - P}$ die Dichte des ersteren Gases.)

Die Dichte d eines Gases wird, indem hierbei alle auf S. 275 unter (104) angedeuteten Correctionspunkte in Rechnung gebracht sind, gefunden mittelst der Formel $d = \frac{P_1 - p_1}{P - p} \cdot \frac{H - h}{H_1 - h_1} \cdot \frac{1 + kt}{1 + kt_1} \cdot \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t}$. In dieser Formel ist α der Ausdehnungscoefficient der Luft $\left(= \frac{11}{30}\right)$ und k jener des Glases $\left(= \frac{1}{1167}\right)$; P ist das Gewicht des Ballons, wenn er vollkommen trockene Luft bei der Temperatur t und unter dem atmosphärischen Drucke H enthält; p ist das Gewicht des Ballons, wenn derselbe so weit ausgepumpt ist, daß die innere Luft nur noch eine sehr schwache Spannung h übt, bei einer Temperatur t, die jener bei der ersten Wägung gleich vorausgesetzt wird; P_1 ist das Gewicht des Ballons, nachdem derselbe mit dem betreffenden, vollkommen reinen Gase gefüllt worden und zwar unter dem atmosphärischen Drucke H_1 und bei der Temperatur t_1; p_1 endlich ist das Gewicht des Ballons nachdem derselbe abermals so weit ausgepumpt worden, daß das Gas darin nur eine sehr schwache Spannkraft h_1 bei der Temperatur t_1 besitzt.

Zum Messen der Größen H, H_1, h, h_1 dient am besten die von Regnault „barometrisches Manometer" genannte Vorrichtung, welche sich mit wenigen Kosten leicht herstellen läßt und einen hohen Grad von Genauigkeit gewährt. Sie besteht aus zwei Röhren (A, B), die von einem vertikalen Brete, woran sie festgeheftet sind, getragen werden. Die eine Röhre (A) ist eine Barometerröhre von 20 Millimeter innerem Durchmesser, die wohl ausgekochtes Quecksilber enthält und mit dem unteren Ende in ein mit trockenem Quecksilber gefülltes Behältniß taucht. Dieses Behältniß ist ein rechteckiges Kästchen aus Gußeisen und durch eine senkrechte Scheidewand in zwei Zellen getheilt, wovon die kleinere dem Barometer A als Gefäß dient. In die zweite Zelle taucht die andere beiderseits offene Röhre (B), die mit der Röhre A einen gleichen Durchmesser hat und am obern Ende durch eine Bleiröhre mit dem Apparate verbunden werden kann, worin die schwächeren Spannkräfte, um deren Messung es sich handelt, geübt werden. Eine Pipe an dieser Zelle gestattet das Niveau des Quecksilbers darin beliebig zu senken. Wenn man nun den Druck der Atmosphäre (also die Größe H oder H_1 der obenstehenden Formel) bestimmen will, so gießt man so viel Quecksilber in das Kästchen, daß es über die Scheidewand hinweggeht, dann schraubt man eine vertikale am obern und am untern Ende in eine geschwärzte Spitze ausgehende Schraube herab, bis man die untere Spitze den Quecksilberspiegel im Kästchen gerade berühren sieht, mißt nun mittelst des Kathetometers (welches in der Wärmelehre in dem Absatze, der von der Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten durch die Wärme handelt, beschrieben ist) den Höhenunter-

*) Wie groß dieser Druck und diese Temperatur an und für sich sei, hat auf die Größe der Dichte des betreffenden Gases keinen wesentlichen Einfluß, da die atmosphärische Luft und alle andern Gase bei ihrer Verdichtung sehr nahe ganz die nämlichen Gesetze befolgen.

schied der Quecksilberoberfläche in der Barometerröhre und der obern schwarzen Spitze der Schraube, addirt zu diesem Höhenunterschied die Höhe der Schraube zwischen ihren beiden Spitzen und hat so den Barometerstand, d. i. das Maß des Druckes der Atmosphäre. Nachdem man das Gewicht des mit Gas gefüllten Ballons bestimmt hat, evacuirt man ihn, zu welchem Behufe er mittelst einer dreiarmigen Röhre einerseits mit der Luftpumpe und andererseits mit der Bleiröhre an B in Verbindung gebracht wird. Nach dem Evacuiren hebt man die Verbindung mit der Luftpumpe auf, mißt nach einiger Zeit in der beschriebenen Art mittelst des Kathetometers und der zweispitzigen Schraube den Höhenunterschied der Quecksilbersäulen in A und B, und dieser Unterschied ist das Maß der Spannkraft des Gases im Ballon. Die Scheidewand im Kästchen ist nothwendig, um im Momente des Evacuirens die zwei Zellen trennen und so das Quecksilber im Barometer A gegen Schwankungen, durch welche nach und nach Luft in's Vacuum gebracht würde, bewahren zu können.

Eine mit dem eben beschriebenen Manometer der Hauptsache nach übereinstimmende Vorrichtung ist jene, die bei der Handluftpumpe auf S. 261 als Mittel zur Bestimmung des erzielten Verdünnungsgrades beschrieben würde.

Da, wenn **S** und **s** die spezifischen Gewichte (die Gewichte der Volumeinheit) reiner atmosphärischer Luft und eines anderen Gases bei 0^0 R. und 28·851 Zoll Barometerstand bedeuten, $\frac{s}{S}$ die Dichte des letzteren Gases vorstellt, so folgt, daß die Dichte irgend einer Luftart auch dadurch ermittelt werden könne, daß man nach dem eben beschriebenen Verfahren das auf die Normaltemperatur und den Normalbarometerstand reduzirte spezifische Gewicht der betreffenden Luftart bestimmt und dieses durch das bekannte auf die nämliche Volumeinheit sich beziehende spezifische Gewicht der reinen atmosphärischen Luft bei 0^0 R. und 28·851 Barometerstand dividirt. (Das Gewicht eines Wiener Kubikzolles solcher atmosphärischen Luft wurde oben = 0·326 Wiener Gran angegeben, und das Gewicht irgend einer andern Volumeinheit läßt sich daraus nach dem Verhältniß dieser Volumeinheit zum Wiener Kubikzoll leicht berechnen.) Die Tafel **VII. C.** am Schlusse des Buches enthält die Dichten der Gase. Daß man diese Dichten nur mit dem spezifischen Gewichte der atmosphärischen Luft bei der Temperatur t und dem Barometerstande b zu multipliziren braucht, um die spezifischen Gewichte der Gase bei der nämlichen Temperatur t und demselben Barometerstand b zu erhalten, ist für sich klar.

Handelt es sich um die Lösung der Frage, wie vielmal dichter oder weniger dicht als die atmosphärische Luft bei 0^0 R. und 28·851 Zoll Druck (oder bei irgend einer andern Temperatur T und einem andern Druck B) eine Gasart bei einer Temperatur t und einem Barometerstande b sei, so ist natürlich das durch den Versuch (z. B. bei t_1^0 R. und b_1 Barometerstand) gefundene spezifische Gewicht dieser Gasart mittelst der Formel (100) S. 257 zuerst auf das der Temperatur t und dem Drucke b entsprechende spezifische Gewicht zurückzuführen, und dieses nachher durch das spezifische Gewicht der atmosphärischen Luft bei 0^0 R. und 28·851 Zoll-Barometerstand (oder respective bei T Temperatur und B Druck, welches Gewicht man aus dem bekannten spezifischen Gewichte bei 0^0 R. und 28·851 Zoll Barometerstand durch Reduction nach der Formel (103) auf S. 275 erhält) zu dividiren.

135. Gewichtsverlust der Körper in der Luft. In **113** und **114** wurde blos aus der Schwere tropfbarer Flüssigkeiten und aus der absolut leichten Verschiebbarkeit ihrer Theilchen durch eine Reihe von Schlüssen gefolgert, daß ein in einer solchen Flüssigkeit befindlicher Körper einen um das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge größeren Druck in senkrechter Richtung aufwärts als abwärts erfahre, daß er daher von seinem Gewichte so viel verliere, als das von ihm verdrängte Flüssigkeitsquantum wiegt, und daß er in der Flüssigkeit entweder untersinken, an jeder Stelle schweben bleiben oder emporsteigen müsse, je nachdem sein spezifisches Gewicht im Vergleiche mit jenem der Flüssigkeit größer, gleich oder kleiner ist. Da nach S. 231 die Schwere und die absolut leichte Verschiebbarkeit der Theilchen auch den Gasen zukommen, so leidet die besagte Schlußreihe auch auf die Gase volle Anwendung und diese führt nothwendig zu analogen Sätzen wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten, nämlich: daß Körper auch in Gasen einen um das Gewicht des verdrängten Gasquantums größeren Druck nach aufwärts

als nach abwärts erfahren, mithin so viel von ihrem Gewichte verlieren, als die von ihnen verdrängten Gasmengen wiegen...(1), und entweder an jeder Stelle schweben bleiben... (2), mit einer dem Unterschiede ihres Gewichtes und des Gewichtes der verdrängten Gasmenge gleichen Kraft emporsteigen...(3) oder mit dieser Kraft zu Boden fallen...(4), je nachdem sie spezifisch eben so schwer, spezifisch leichter oder spezifisch schwerer sind, als das sie umgebende Gas.

Aus dem Satze (1) folgt, daß man, um das wahre Gewicht eines Körpers zu erhalten, zu dessen durch Abwägen in der Luft gefundenen, scheinbaren Gewicht noch das Gewicht der von ihm verdrängten Luftmasse addiren müsse. Bei Wägungen kleiner Körper wird wegen Kleinheit des Gewichtes der verdrängten Luftmasse diese Correction in der Regel unterlassen, und aus gleichem Grunde wird auch auf den Gewichtsverlust, den die zum Wägen angewendeten Gewichtseinheiten in der Luft erleiden, fast nie Rücksicht genommen. In den meisten Fällen (wo die besagte Correction überhaupt nothwendig erscheint) begnügt man sich mit der Berücksichtigung des Gewichtsverlustes des zu wägenden Körpers und bestimmt diesen Verlust (das absolute Gewicht der Luft unter dem Volum des gewogenen Körpers) leicht dadurch, daß man nach Formel (103) S. 275 aus dem bekannten spezifischen Gewichte (x) der Luft bei 0^0 R. und 28·851 Zoll Druck das spezifische Gewicht (**S**) der Luft für den bei der Wägung beobachteten Thermometer- und Barometerstand (**T, B**) berechnet und dieses mit dem Volum des gewogenen Körpers multiplizirt. (Ist dieses Volum nicht bekannt, so läßt es sich bei jeder noch so unregelmäßigen Gestalt des Körpers leicht ermitteln, indem man denselben in Wasser oder eine andere passende Flüssigkeit taucht und seinen Gewichtsverlust darin bestimmt. Dieser Verlust, = dem Gewichte (V_1 S_1) der Flüssigkeitsmenge vom Volum (V_1) des eingetauchten Körpers, gibt, durch das spezifische Gewicht (S_1) der Flüssigkeit dividirt, offenbar dieses Volum (V_1).

Fig. 253.



Daß Körper in der Luft von ihrem Gewichte verlieren und daß der Verlust desto mehr beträgt, je dichter die Luft ist, kann dadurch anschaulich gemacht werden, daß man einen kleinen empfindlichen Wagebalken b, woran sich, wie in Fig. 253, eine hohle, zugeschmolzene, sehr leichte Glaskugel a von etwa 2—3 Zoll Durchmesser und ein andererseits aufgehängter kleiner Metallkörper c bei gewöhnlicher Dichte der Luft das Gleichgewicht halten, unter den Recipienten der Luftpumpe bringt und die Luft in diesem verdünnt. Es wird nämlich wegen nothwendiger Abnahme des Gewichtsverlustes der Kugel (eigentlich der Differenz des Gewichtsverlustes der Kugel und des kleinen Metallkörpers) in verdünnter Luft die Kugel desto mehr sinken, je weiter die Verdünnung getrieben wird.

Aus dem vorstehenden Satze (3) erklärt sich das Aufsteigen des Rauches und der Wolken in der Luft, der warmen (spezifisch leichtern) Luft in kalter und das Steigen der Luftballone.

Ein Luftballon (Aërostat) besteht der Hauptsache nach aus einer sehr leichten, luftdichten, kugel- oder birnförmigen Hülle, die mit einem Gase gefüllt ist, das, während es eine gleiche Expansivkraft wie die atmosphärische Luft besitzt, spezifisch leichter ist als diese, so daß das Gewicht **P** der Hülle sammt dem sie erfüllenden Gase weniger beträgt, als das Gewicht **Q** eines gleich großen Volums atmosphärischer Luft. Ein solcher Ballon muß [nach (3)] in der atmosphärischen Luft sich mit einer Kraft **Q—P** erheben, welche seine Steigkraft darstellt und bei hinreichender Größe des Ballons und Anwendung eines spezifisch sehr leichten Gases zum Füllen, so groß wird, daß der Ballon bedeutende Lasten (einen oder selbst mehrere Menschen, die sich in einer leichten Gondel befinden, welche unter dem Ballon an einem denselben einhüllenden Stricknetze festgemacht ist) mit sich in die Höhe führen kann. Man ertheilt einem Ballon (einer ballonförmigen Hülle) Steigkraft, entweder indem man sie unten

offen läßt und die atmosphärische Luft darin mittelst eines unter der Oeffnung angebrachten Feuers gehörig verdünnt (Luftballone dieser Art heißen Montgolfieren, weil die Gebrüder Montgolfier, Papierfabrikanten zu Annonay, daselbst im Jahre 1783 zuerst einen Ballon durch Erwärmen der Luft darin steigen machten), oder besser, indem man die Hülle mit Wasserstoffgas füllt und dann wohl verschließt, wie dies im August 1783 zuerst Professor Charles in Paris that, woher derlei Luftballone auch den Namen Charlieren führen. In neuer Zeit verwendete zuerst der berühmte englische Luftschiffer Green anstatt des Wasserstoffgases das aus Steinkohlen erzeugte, bei der Gasbeleuchtung als Leuchtstoff dienende Kohlenwasserstoffgas, was den Vortheil gewährt, daß man leichter einen für dieses Gas als für das viel feinere Wasserstoffgas undurchdringlichen Stoff zur Hülle des Ballons herstellen kann; daß in Städten, wo Gasbeleuchtungsanstalten existiren, die Füllung des Ballons aus den Gasometern dieser Anstalten oder aus den Hauptgasleitungsröhren sich leicht und sehr schnell bewerkstelligen läßt und die sonst erforderlichen kostspieligen und voluminösen Füllungsapparate ganz erspart werden. Für mit Wasserstoff- oder mit Leuchtgas zu füllende Ballone (und nur solche sind zur Luftschifffahrt geeignet) wird die Hülle aus durch Firniß gehörig luftdicht gemachtem Taffet oder, für ganz kleine Luftbälle dieser Art, aus sogenannten Goldschlägerhäutchen verfertigt, während für die erwärmte atmosphärische Luft bei den Montgolfieren Hüllen aus Papier oder Leinwand hinreichende Luftdichtigkeit besitzen. Wasserstoff oder Leuchtgas enthaltende, geschlossene Ballone dürfen mit dem betreffenden Gase nie ganz, sondern nur etwa zu $^3/_4$ ihres Volums angefüllt werden, sonst würden sie in größeren Höhen, wo der dem eingeschlossenen Gase entgegenwirkende Druck der äußeren Luft (aus in einem nächsten Absatze folgenden Grunde) bedeutend geringer ist, durch das hieraus nothwendig hervorgehende Streben des eingeschlossenen Gases, sich in einen größeren Raum auszubreiten, zerplatzen gemacht werden. Luftballone dieser Art, welche Menschen mit in die Höhe zu nehmen bestimmt sind, müssen überdies in ihrem Gipfel mit einer Klappe versehen sein, die sich durch den Zug an einer in die vorbesagte Gondel hinabgehenden Schnur öffnen läßt, beim Nachlassen des Zuges aber durch Wirkung einer Feder immer wieder geschlossen wird. Durch Oeffnen dieser Klappe kann der Luftschiffer nicht nur das vorerwähnte Zerplatzen um so sicherer verhüten, sondern mittelst derselben und mit Hilfe von Ballast (am besten Sand, der in der Gondel in Säcken mitgeführt wird) hat er es auch in seiner Macht, den Ballon nach Bedürfniß sinken oder steigen zu machen, d. h. denselben in senkrechter Richtung zu dirigiren. Sinken muß er, wenn durch die geöffnete Klappe Gas ausströmen gelassen, der Ballon mithin kleiner und im Verhältniß zum Gewichte der von ihm verdrängten Luftmenge schwerer wird, und wieder steigen muß er, wenn er durch Auswerfen von Sand aus der Gondel an Gewicht abnimmt. Alle die verschiedenen Mittel (Segel, Ruder, Reactionsmaschinen u. s. w.), die bisher versucht worden sind, um auch der Bewegung des Luftballons in horizontaler Richtung Meister zu werden, blieben ohne günstigen Erfolg. Der Luftballon ist in dieser Beziehung immer noch das Spiel des Windes, der die Richtung seiner horizontalen Bewegung bestimmt, so daß der Luftschiffer den Zweck, seinem Ballon eine bestimmte horizontale Direction zu geben, nur dadurch erreicht, daß er sich so lange hebt und senkt, bis er in eine Luftschichte kömmt, wo der Wind die dem Ballon zugedachte Richtung hat.

Die folgende Tabelle, welcher die Annahme zu Grunde liegt, das Wasserstoffgas in dem unreinen Zustande, in welchem es zum Füllen der Luftballone verwendet wird, sei nur 7mal leichter als die atmosphärische Luft, gibt für Charlieren verschiedener Durchmesser die Kräfte an, womit sie in die Höhe zu steigen beginnen.

Durchmesser Fuß.	Steigkraft Pfund.	Durchmesser Fuß.	Steigkraft Pfund.	Durchmesser Fuß.	Steigkraft Pfund.
5	1·2	40	2276	80	19546
10	34·5	50	4542	90	27443
20	255	60	7955	100	37797
30	928	70	12753	200	308221

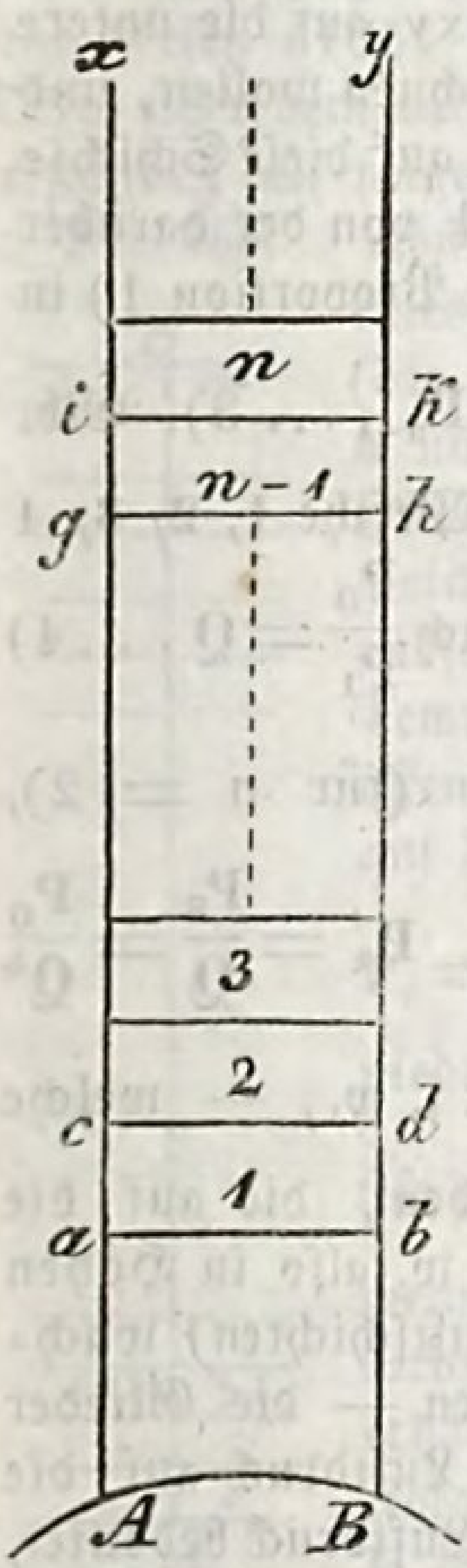
Diese Steigkräfte sind in so fern zu groß, als bei ihrer Berechnung nur die bloße Hülle ohne Rücksicht auf die Ränder ihrer Nähte, auf die Seile u. s. w. in Betracht kam, und auch der vorn erwähnte Umstand, daß des Platzens wegen keine Charliere ganz gefüllt werden darf, außer Acht blieb.

136. Ueber die Gestalt und Dichtigkeitsverhältnisse der Erdatmosphäre im Zustande des Gleichgewichtes läßt sich dem Vorhergehenden gemäß Folgendes behaupten. Die Theilchen der nach dem Zeugnisse der Erfahrung die Erde von allen Seiten umgebenden atmosphärischen Luft werden von der Schwere gegen die Erde gezogen und vermöge der zwischen denselben wirksamen Abstoßungskraft suchen sie sich nach allen Richtungen hin im Raume zu verbreiten. Nach den Seiten hin und nach unten (gegen die Erde zu) werden sie daran durch den Widerstand der nebenan und unterhalb befindlichen, ein gleiches Streben äußernden Theilchen gehindert, und der Ausdehnung nach aufwärts (von der Erde hinweg) wirkt die Schwere entgegen. In jener Entfernung von der Erde, wo die Schwere der Lufttheilchen und die gegenseitige Abstoßungskraft derselben einander das Gleichgewicht halten, hat die Atmosphäre ein Ende, und ihre äußere Grenzfläche muß als freie Oberfläche einer schweren, außerordentlich leicht verschiebbaren Flüssigkeit (**105**) so gestaltet sein, daß die Richtungen der Schwere auf ihr senkrecht stehen, sie muß also so wie die Erdoberfläche eine kugelförmige Gestalt haben. Die Erdatmosphäre bildet daher eine kugelförmige, die Erde einhüllende Luftschale; die an ihrer äußeren Grenze (wo, wie oben erwähnt worden, die abstoßende Kraft der Lufttheilchen mit der Schwere derselben im Gleichgewichte steht) befindliche Luftschichte drückt auf die nächstvorgehende, diese pflanzt den empfangenen Druck auf die (gegen die Erde hin) anstoßende dritte Luftschichte fort und drückt auf dieselbe zugleich mit ihrem eigenen Gewichte, die dritte Schichte wirkt auf die angrenzende vierte Schichte durch Uebergang des empfangenen Druckes und vermehrt diesen wieder durch ihr eigenes Gewicht u. s. w. Demnach erfährt jede mit der Erde concentrische Schichte der Atmosphäre (von den über ihr gelegenen Luftschichten) einen desto größeren Druck, und erhält daher (nach **127**) eine desto größere Dichte und Expansivkraft, je näher sie der Erdoberfläche ist . . (1). Die atmosphärische Luft verdankt demnach die Expansivkraft, welche sie an allen Stellen äußert und welche der Torricelli'sche Versuch nachweist, dem von der Schwere kommenden Druck der darüber liegenden Luftmasse, so daß Torricelli's Versuch auch einen Beweis für die Schwere der atmosphärischen Luft liefert. Auch folgt nach (1), daß an allen vom Mittelpunkt der Erde gleichweit entfernten Orten die Dichten und Expansivkräfte der (im Gleichgewichtszustande und bei einerlei Temperatur gedachten) atmosphärischen Luft, und mithin auch der Druck, den sie übt, und die Barometerstände gleich sein, von der Erde nach aufwärts aber abnehmen müssen *).

*) Für Orte, die in horizontaler Richtung nicht weit von einander entfernt sind, findet die besagte Gleichheit der Barometerstände wirklich statt; bei größeren Entfernungen verursachen aber die beständigen in der Atmosphäre vorhandenen Strömungen nicht unbedeutende Differenzen, welche jedoch verschwinden, wenn man aus vielen beobachteten Barometerständen das arithmetische Mittel nimmt. In Folge des beständigen Wechsels der Temperatur, der Winde und der Menge der Wasserdünste in der atmosphärischen Luft ist an einem und demselben Orte der Barometerstand fortwährenden regelmäßigen (pe-

137. Gesetz, nach welchem die Dichte (mithin auch die Expansivkraft und der Druck) der atmosphärischen Luft mit der Entfernung von der Erdoberfläche abnimmt. Zum Behufe der Ermittlung dieses Gesetzes denke man sich eine von der Erdoberfläche ausgehende vertikale dünne Luftsäule, wovon **ABxy** Fig. 254 einen senkrechten Durchschnitt darstellt und die man sich von **xy** aus bis an das Ende der Erdatmosphäre fortgesetzt vorstellen muß. Man denke sich ferner diese Luftsäule in lauter gleichgroße horizontale Schichten von so geringer Höhe abgetheilt, daß die Dichte der Luft in jeder einzelnen dieser Schichten als gleichförmig (d. i. an jeder Stelle einer und derselben Schichte als gleich groß) angenommen werden kann. Bezeichnet man für die aufeinanderfolgenden Schichten 1, 2, 3 .... n—1, n u. s. w. die Dichten mit d_1, d_2, d_3 ... d_{n-1}, d_n u. s. w; die absoluten Gewichte, welche diese Schichten einzeln und der Reihe nach besitzen, mit p_1, p_2, p_3 ... p_{n-1}, p_n u. s. w., und endlich die Kraft, womit jede solche Schichte von der auf ihr lastenden, bis ans Ende der Atmosphäre reichenden Luftsäule gedrückt wird, in der Nacheinanderfolge von unten nach oben mit P_1, P_2, P_3 ... P_{n-1}, P_n u. s. w., (so daß z. B. P_1 oder P_{n-1} die Größe des Druckes vorstellt, den die Schichte 1 oder n—1, d. i. die obere Grenzfläche **cd** oder **ik** von der darüber befindlichen Luftsäule erleidet) und vergleicht hierauf irgend eine der höher gelegenen Schichten, z. B. die nte, mit der untersten Schichte 1, so hat man dem Mariotte'schen Gesetze, namentlich dem Satze (96) S. 253 zu Folge $d_1 : d_n = P_1 : P_n$. Da ferner auch $d_1 : d_n = p_1 : p_n$ ist (denn nach (5) S. 29 verhalten sich die absoluten Gewichte zweier Körper von gleichem Volum wie ihre spezifischen Gewichte, diese nach Anmerkung *) auf S. 202 wieder wie ihre Dichten, mithin auch die absoluten

Fig. 254.



riodischen) und zufälligen Schwankungen (Variationen) unterworfen. Fast an allen Orten erreicht der Barometerstand täglich zweimal eine größte und eben so oft eine geringste Höhe (ein Maximum und Minimum), und zwar das Maximum einmal zwischen $8^1/_2$ und $10^1/_2$ Uhr früh, das anderemal zwischen 9 und 11 Uhr abends, und das erste Minimum zwischen 3 und 5 Uhr früh, das zweite zwischen 3 und 5 Uhr abends. Im Sommer treten die beiden Wendepunkte des Morgens 1 bis 2 Stunden früher und die zwei Wendepunkte des Abends eben so viel später ein. Der Barometerstand in der Mittagsstunde unterscheidet sich nur um sehr wenig von dem aus 24, von Stunde zu Stunde des Tags gemachten Beobachtungen genommenen arithmetischen Mittel (dem mittleren Barometerstande des Tages); das arithmetische Mittel aus den mittleren Barometerständen der Tage eines Monats und der 12 Monate eines Jahres gibt den mittleren Barometerstand des Monats und des Jahres. Die zufälligen Schwankungen kommen nur in der gemäßigten und kalten Zone und in desto größerem Maße vor, je größer die geographische Breite des Beobachtungsortes ist. Sehr nützlich zur Ermittlung der Barometerstandsveränderungen ist der Barometrograph, von dem vorn S. 244 im Allgemeinen eine Vorstellung gegeben wurde.

Aus der Annahme, daß die Luft an der Erdfläche auf den Quadratzoll einen Druck von nahe $12^3/_4$ Pfund übe, und daß die Oberfläche eines erwachsenen Menschen (im Mittel) 12 Quadratfuß betrage, folgt, daß auf dem menschlichen Körper im Durchschnitt ein Druck von 22000 Pfund laste. Wir empfinden diesen Druck nicht, weil er von allen Seiten und durch die in dem Körper enthaltene Luft selbst von innen heraus geübt wird und wir unsern Zustand unter diesem Drucke mit dem, wo derselbe fehlt, nicht vergleichen können. Die Veränderungen im Luftdrucke kündigen sich dem Menschen nicht selten durch eine Veränderung in seinem Befinden an. Gesunde, kräftige Individuen sind nur für grö-

Gewichte (p_1, p_n) zweier gleich großen Luftschichten wie die Dichten (d_1, d_n) derselben), so ist auch $P_1 : P_n = p_1 : p_n$, oder nach Verwechslung der mittleren Glieder und nachheriger Addition der Vordersätze zu den Nachsätzen,
$P_1 : P_1 + p_1 = P_n : P_n + p_n$ . . . 1). Nun stellt aber $P_1 + p_1$, d. i. der um das Gewicht der Schichte 1 vermehrte Druck auf diese Schichte, den Druck der (bis an das Ende der Atmosphäre verlängert gedachten) Luftsäule abxy auf die untere Grenzfläche ab der Schichte 1 vor, welchen Druck wir mit P_0 bezeichnen wollen, und $P_n + p_n$, d. i. der um das Gewicht der Schichte n vermehrte Druck auf diese Schichte macht offenbar den Druck P_{n-1} aus, welchen die Schichte $n - 1$ von der darüber stehenden Luftsäule erfährt; es geht daher durch Substitution die Proportion 1) in $P_1 : P_0 = P_n : P_{n-1}$ . . . 2) über, und hieraus folgt: $P_n = \frac{P_1}{P_0} P_{n-1}$ . . . 3). Gibt man in dieser Gleichung dem Stellenzeiger n nach und nach die Werthe 1, 2, 3, 4 u. s. w. und setzt der Kürze wegen den constanten, unechten Bruch $\frac{P_0}{P_1} = Q$ . . . 4) mithin $\frac{P_1}{P_0} = \frac{1}{Q}$, so erhält man: (für $n = 1$), $P_1 = \frac{P_0}{Q}$; (für $n = 2$), $P_2 = \frac{P_1}{Q} = \frac{P_0}{Q^2}$; (für $n = 3$), $P_3 = \frac{P_2}{Q} = \frac{P_0}{Q^3}$; (für $n = 4$), $P_4 = \frac{P_3}{Q} = \frac{P_0}{Q^4}$ u. s. f. . . . 5) Nun bilden die Werthe $\frac{P_0}{Q}$, $\frac{P_0}{Q^2}$, $\frac{P_0}{Q^3}$, $\frac{P_0}{Q^4}$ u. s. w., — welche eben für die Druckkräfte P_1, P_2, P_3, P_4 u. s. w. gefunden wurden, die auf die nacheinander folgenden gleich hohen Luftschichten 1, 2, 3, 4 u. s. w. also in Höhen wirken, welche immer um die nämliche Größe (die Höhe einer der Luftschichten) wachsen, mithin die Glieder einer arithmetischen Progression darstellen — die Glieder einer abnehmenden geometrischen Progression (denn da P_1 den Luftdruck auf die Schichte 1 und P_0 den um das Gewicht der Schichte 1 größeren Luftdruck bedeutet, so ist $Q = \frac{P_0}{P_1}$ größer als 1, es sind daher dessen höhere Potenzen an Werth zunehmende, also die für die Druckkräfte P_1, P_2, P_3 u. s. w. gefundenen Ausdrücke an Werth abnehmende Größen); es besteht somit das Gesetz: „Die Intensitäten des Luftdruckes bilden an Orten, deren Höhen sich wie die Glieder einer arithmetischen Progression verhalten, die Glieder einer abnehmenden geometrischen Progression; daher nimmt, wenn man sich in der Luft zu Höhen begibt, die in einem arithmetischen Verhältnisse wachsen, der Barometerstand (als das Maß des Luftdruckes), und (dem Mariotte'schen Gesetze gemäß) die Dichte der Luft in einem geometrischen Verhältnisse ab. . . . . (105)

Dieses Gesetz gilt aber nur unter der Voraussetzung, daß alle Luftschichten

---

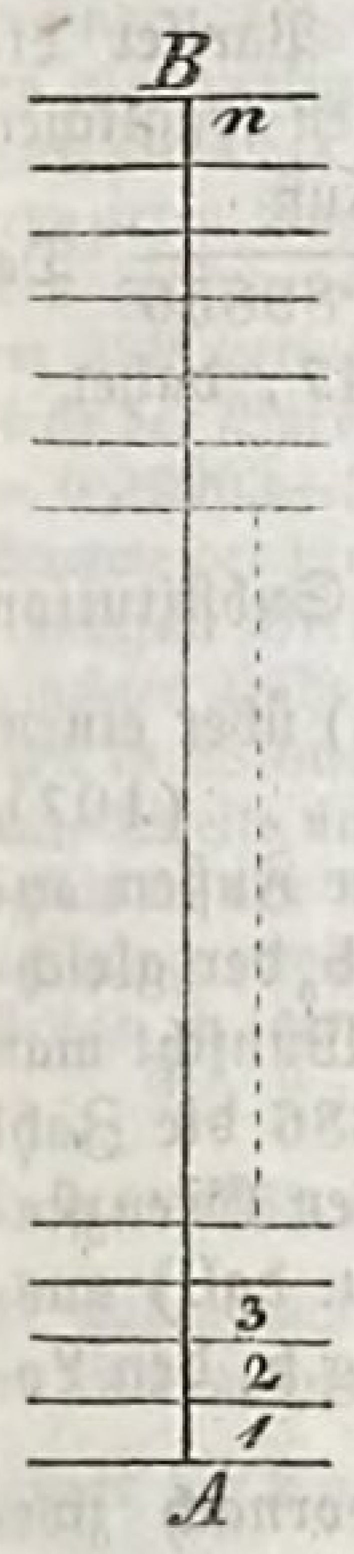
ßere Luftdruckveränderungen, — wie sie stattfinden, wenn man aus bedeutend hoch gelegenen Gegenden in tiefliegende (wo der Luftdruck viel größer ist) kömmt oder umgekehrt, — empfindlich und fühlen sich dabei unbehaglich, matt und beklommen (woraus sich, wenn auch nur zum Theil, das Heimweh der Hochgebirgsbewohner im flachen Lande erklärt).

Die Abnahme der Dichte und Expansivkraft der atmosphärischen Luft nach oben zeigt sich nicht nur an dem Sinken des Barometers, wenn es an einen höher gelegenen Ort gebracht wird, sondern auch z. B. an einer zugebundenen, schlaffen Thierblase, welche beim Uebertragen vom Fuße auf den Gipfel eines mäßig hohen Berges anschwillt, als ob man unter dem Recipienten der Luftpumpe die Luft um sie herum verdünnt hätte. In einer Höhe von etwa 5 Meilen über der Erdoberfläche hat die Atmosphäre (für deren ganze Höhe, nebenbei gesagt, man näherungsweise 27 geographische Meilen annehmen kann) schon eine so geringe Dichte, wie man sie mit der besten Luftpumpe kaum erzeugen kann.

die nämliche Temperatur haben, daß die Abnahme der Intensität der Schwere von unten nach aufwärts vernachlässigt werden darf und daß das Mariotte'sche Gesetz für jeden hier in Betracht kommenden Grad der Dichte der Luft gelte . . (106)

138. Höhemessung mittelst des Barometers. Das eben erwiesene Gesetz (105) gestattet, den senkrechten Abstand zweier Orte (die Höhe eines Ortes über dem andern) aus den an beiden Orten gleichzeitig herrschenden Barometerständen auf folgende Weise zu berechnen. Ist $AB = H$ (Fig. 255) der senkrechte Abstand der betreffenden zwei Orte (z. B. des Fußes und Gipfels eines Berges), mithin H die Höhe des einen Ortes über dem andern (die Höhe des Berges), und man denkt sich die Luftsäule zwischen A und B in n horizontale Schichten (1, 2 . . . n) von so geringer Höhe $= h$ getheilt, daß die Dichte in jeder einzelnen Schichte als gleichförmig angenommen werden kann; so hat man unter der Voraussetzung, daß von A bis B hin in der Luft überall die nämliche Temperatur herrscht und die Schwere mit gleicher Intensität wirkt, offenbar, wenn P_0 den Luftdruck in A und P_n diesen Druck in B (d. i. auf die nte Luftschichte) bezeichnet, gemäß 5) S. 282, die Gleichung $P_n = \frac{P_0}{Q^n}$ oder wenn für P_0 und P_n die an beiden Stationen (der niedrigeren A und der höheren B) gleichzeitig herrschenden Barometerstände b_0 und b_n gesetzt werden, $b_n = \frac{b_0}{Q^n}$, woraus $Q^n = \frac{b_0}{b_n}$, und wenn beiderseits die Logarithmen genommen werden, $n \log. Q = \log. b_0 - \log. b_n$ folgt. Durch Multiplikation dieser Gleichung mit h erhält man ferner $nh \log. Q = h (\log. b_0 - \log. b_n)$ und hieraus (da zu Folge der gemachten Voraussetzung, daß die Luftsäule von der Höhe H in n gleiche Schichten von der Höhe h getheilt sei, $nh = H$ ist)

Fig. 255.



die zu bestimmende Höhe $H = \frac{h}{\log. Q} (\log. b_0 - \log. b_n)$ . . . . (I. Der Werth des noch unbekannten Faktors $\frac{h}{\log. Q}$ dieser Gleichung ergibt sich aus folgender Betrachtung. Da nach (4) S. 282, $Q = \frac{P_0}{P_1}$ ist, $\frac{P_0}{P_1}$ aber den Quotienten der geometrischen Progression darstellt, deren Glieder die Kräfte (P_0, P_1, P_2 u. s. w.) bilden, womit die Luft auf die von A nach B (Fig. 255) hin aufeinander folgenden Luftschichten von der Höhe h drückt (und deren Maß die in diesen Schichten herrschenden Barometerstände sind), so kann man in der Gleichung $Q = \frac{P_0}{P_1}$ anstatt P_0 und P_1 offenbar je zwei auf unmittelbar nacheinander folgende Luftschichten von der Höhe h wirkende Druckkräfte substituiren, so daß $Q = \frac{P_0}{P_1} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_2}{P_3}$ u. s. w. ist, daher der Werth von Q gefunden wird, wenn man den an irgend einem Orte beobachteten Barometerstand durch den Barometerstand dividirt, der an einem um die Größe h höher gelegenen Orte stattfindet... (II. Dies gilt natürlich alles nur unter den oben gemachten Voraussetzungen (106), und je kleiner man die Höhe h der vorbesagten Luftschichten annimmt, desto weniger unterscheidet sich der wirkliche Dichtigkeitszustand derselben von dem vorausgesetzten, desto genauer erhält man daher offenbar den Werth des Factors $\frac{h}{\log. Q}$. Da bei der Temperatur 0^0 R. und bei

336·9 Pariser Linien Barometerstand das Quecksilber (unter der geographischen Breite von 45°) 10467mal schwerer ist als trockene atmosphärische Luft *), so wird einer (als gleichförmig dicht vorausgesetzten) Luftsäule von 0·10467 Fuß Höhe durch eine nur 0·00001 Fuß = 0·00144 Linien hohe Quecksilbersäule das Gleichgewicht gehalten, mithin der Barometerstand um 0·00144 Linien abnehmen, wenn man das Barometer um 0·10467 Fuß höher stellt. Setzt man daher den dem Luftdrucke P_0 entsprechenden Barometerstand = 336·9 Pariser Linien und h = 0·10467 Pariser Fuß (indem man in einer Luftschichte von nur 0·10467 Pariser Fuß Höhe die Dichte als gleichförmig betrachten kann), so ist der in einer um h höheren Luftschichte stattfindende Luftdruck $P_1 = 336{\cdot}9 - 0{\cdot}00144 = 336{\cdot}89856$ Pariser Linien; daher erhält man mit Rücksicht auf den Satz (4) S. 282 für den fraglichen Faktor $\frac{h}{\log.Q}$ der Gleichung (1 den Werth $\frac{0{\cdot}10467 \text{ Paris. Fuß}}{\log.336{\cdot}9 - \log.336{\cdot}89856}$. Da $\log.336{\cdot}9 = 2{\cdot}5275010110$ und $\log.336{\cdot}89856 = 2{\cdot}5274991547$, daher $\log.336{\cdot}9 - \log.336{\cdot}89856 = 0{\cdot}0000018563$ ist; so hat man

$$\frac{h}{\log.Q} = \frac{0{\cdot}10467}{0{\cdot}0000018563} = 56386 \text{ Pariser Fuß},$$

und erhält durch Substitution dieses Werthes in der Formel (1 für die Höhe die **H** eines Ortes **(B)** über einem andern Ort **(A)** die Gleichung $H = 56386\,(\log.b_0 - \log.b_n)$ . . . (107), welche, da die Zahl 56386 Pariser Fuß bedeutet, diese Höhe in Pariser Fußen angibt, wenn darin für b_0 der Barometerstand an dem niedrigeren und für b_n der gleichzeitig herrschende Barometerstand an dem höheren Orte gesetzt wird. Wünscht man die Höhe **H** in Wiener Fußen zu erhalten, so ist in (107) anstatt 56386 die Zahl 57942 zu substituiren. Daß die Barometerstände (b_0 und b_n) an beiden Grenzstationen in ganz beliebigen Maßeinheiten (Zollen, Linien, Millimetern u. dgl.) ausgedrückt sein können, leuchtet daraus ein, daß die Differenz $\log.b_0 - \log.b_n$ den Logarithmus des Quotienten $\frac{b_0}{b_n}$ dargestellt, und daß die Einheit, wornach zwei Größen gemessen werden, die Größe des Quotienten (das Verhältniß) dieser letzteren nicht ändert.

Der Formel (107) liegen bekanntlich die Voraussetzungen zu Grunde, daß in allen Höhen die Temperatur der Luft die nämliche und = 0° **R.** sei, und daß die Schwere mit gleicher Intensität wirke. Da nun diese Voraussetzungen in Wirklichkeit nicht stattfinden, indem die Schwere von unten nach oben an Intensität abnimmt, so kann mittelst der Formel (107) der vertikale Abstand (der Höhenunterschied) zweier Orte nur beiläufig erhalten werden. Die folgende Formel:

$$H = 58152\,(1 + 0{\cdot}0026 \cos.2a)\left(1 + \frac{1}{399}(T + t)\right)(\log.b_0 - \log.b_n) \;.\;.\; (108)$$

ist nicht nur unabhängig von den erwähnten Voraussetzungen, sondern in derselben ist auch der Einfluß der geographischen Breite und der Luftfeuchtigkeit berücksichtigt und sie gibt den Höhenunterschied zweier Orte in Wiener Fußen mit einer Genauigkeit, welche der durch die beste geometrische Messung erzielbaren bis auf eine nicht erhebliche Differenz nahe kömmt. In dieser Formel bedeuten a die geographische Breite, unter welcher die Höhenbestimmung vorgenommen wird, **T** und t die in Réaumur'schen Graden ausgedrückten gleichzeitigen Temperaturen an der untern und obern Beobachtungsstation, und endlich b_0 und b_n die an diesen Statio-

*) Nach Regnault's neuester Untersuchung ist das Quecksilber bei 0° Temperatur und 760 Millimeter Barometerstand im Niveau des Meeres 10517·3mal schwerer als die atmosphärische Luft und 1 Litre dieser Luft wiegt zu Paris, bei 0° und 760 Millimeter Barometerstand, 1·293187 Gramme.

nen gleichzeitig beobachteten, auf die Temperatur 0° R. reduzirten (und in Bezug auf Capillarität und Wärmeeinfluß auf den Maßstab corrigirten) Barometerstände.

Um sich die Rechnung nach dieser Formel zu erleichtern, suche man durch Addition der Logarithmen der in der Formel vorkommenden vier Faktoren zunächst den Logarithmus von H und mittelst dieses hernach den Werth von H selbst. Anstatt den Logarithmus des Faktors $1 + 0.0026 \cos. 2a$ zu suchen und zur Summe der Logarithmen der drei anderen Faktoren zu addiren, kann man auch, ohne dadurch das Ergebniß der Formel erheblich zu ändern, die Summe der Logarithmen der drei übrigen Faktoren so oftmal um 0·00004 vermindern oder vermehren, als die geographische Breite, unter welcher die Höhenbestimmung geschieht, Grade über oder unter 45° beträgt. Man hat demnach, um die Höhe H eines Ortes über einem andern zu finden, folgende Rechnung zu machen. Man nimmt zuerst die Logarithmen der an beiden Orten gleichzeitig beobachteten und auf 0° R. reduzirten Barometerstände und zieht von dem Logarithmus des dem niedrigeren Orte angehörigen Barometerstandes den Logarithmus des andern reduzirten Barometerstandes ab. Nun addirt man folgende Zahlen: 1. den Logarithmus der so eben gefundenen Differenz (der Logarithmen der Barometerstände); 2. den Logarithmus der um 399 vermehrten Summe der Lufttemperaturen $(T+t)$, die an beiden Orten im Augenblicke der Barometerstandsbeobachtung herrschten; 3. die decadische Ergänzung von 399, welche $= 0\cdot39903-3$ ist; 4. den Logarithmus von 58152, der 4·76456 ist. Wird nun noch die Summe der vier Logarithmen um $n \times 0\cdot00004$ vermindert oder vermehrt, je nachdem die geographische Breite um n Grade größer oder kleiner als 45° ist, so hat man den Logarithmus der gesuchten Höhe H, und die demselben in der Logarithmentafel entsprechende Zahl gibt diese Höhe selbst in Wiener Fußen an. Uebrigens könnte die Berücksichtigung des Einflusses der geographischen Breite und der vertikalen Erhebung auf die Intensität der Schwere so wie der Luftfeuchtigkeit in den meisten Fällen vernachläßigt werden, weil der Fehler, der aus dieser Vernachläßigung erwächst, gewöhnlich viel geringer ist als andere Fehler, die bei den der Formel zu Grund zu legenden Beobachtungen unvermeidlich begangen werden.

Die Laplace'sche Formel für barometrische Höhenmessungen ist

$H = 18393^m (\log. b_0 - \log. b_n) \left[1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right]$; sie gibt die Höhe H in Metern (m) und in ihr haben auch die übrigen Buchstaben dieselben Bedeutungen wie in obiger Formel (108). Um des Gebrauches von Logarithmen und anderer Tafeln überhoben zu sein, schlägt Babinet, anstatt der Laplace'schen Formel, die Formel $H = 16000^m \frac{b_0 - b_n}{b_0 + b_n} \left[1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right]$ vor, welche jedoch nur für Höhen unter 1000 Meter giltig ist; kann man sich bei größeren Höhen nicht mit einer bloßen Annäherung an die Wahrheit begnügen, so muß man die Bestimmung solcher Höhen mit Zuhilfenahme von Zwischenstationen vornehmen.

Die barometrischen Höhemessungen machen, wie wir aus dem Vorhergehenden wissen, die Kenntniß des in beiden Stationen, deren Höhe über einander bestimmt werden soll, gleichzeitig herrschenden Barometer- und Thermometerstandes unerläßlich. Diese Kenntniß kann genau nur durch Barometer- und Thermometerbeobachtungen erlangt werden, welche an den betreffenden zwei Stationen gleichzeitig, also von zwei verschiedenen Individuen mit guten, wohl verglichenen Instrumenten angestellt werden.

Indessen läßt sich die Höhebestimmung, jedoch mit weniger Verläßlichkeit, auch von einem einzigen Beobachter mittelst nur eines Barometers vollführen, und zwar auf folgende Weise. Es wird zuerst der Barometerstand in der untern, hierauf in der obern Station beobachtet und die Zeit dieser Beobachtungen notirt. Nach der Rückkehr aus der obern Station in die untere wird in dieser neuerdings der Barometerstand beobachtet, dann aus diesen zwei Beobachtungen in der untern Station mittelst der zwischen denselben verflossenen Zeit die stündliche Aenderung des Barometerstandes in dieser Station berechnet, und der Betrag derselben vom Augenblick der ersten Barometerbeobachtung in der untern Station bis zur Zeit der Beobachtung an der obern Station zum Ergebniß der ersten Beobachtung und zwar mit dem Zeichen + oder mit — hinzugesetzt, je nachdem die besagte Aenderung in einer Zu- oder in einer Abnahme besteht, wodurch der in der untern Station gleichzeitig mit der Beobachtung in der obern herrschende Barometerstand annäherungsweise erhalten wird.

Ist es aber nicht thunlich, wieder in die untere Station zurückzukehren, so läßt man auf die erste daselbst angestellte Barometerstandsbeobachtung nach einer Zeit, die mindestens halb so lang ist, als die, welche man braucht, um zur obern Station zu gelangen, eine zweite solche Beobachtung folgen, berechnet aus dem Ergebnisse beider Beobachtungen und der zwischen beiden verflossenen Zeit (durch Interpolation) wieder die stündliche Veränderung des Barometerstandes in der untern Station und findet mittelst dieser Veränderung, wie vorher, den Barometerstand, der in der untern Station zur Beobachtungszeit in der obern Statt hat. Nun bleibt noch die Temperatur zu bestimmen übrig, welche in der untern Station zur Zeit der Beobachtung in der obern herrscht; diese kann jedoch nicht (durch Interpolation) wie beim Luftdruck gefunden, sondern soll aus dem Gange der Wärme des Tages entnommen werden. Man kömmt jedoch der Wahrheit ziemlich nahe, wenn statt der Größe $T + t$ in der Formel (108) $2t$ gesetzt und die so berechnete Höhe H dann um das Quadrat ihres 500sten Theiles vermehrt wird.

Uebrigens erfordern barometrische Höhenmessungen, wenn sie genaue Resultate liefern sollen, viele Uebung und Vorsicht und insbesondere eine gute Wahl der Zeit zu ihrer Vornahme. Feuchtes, regnerisches und stark windiges Wetter muß man, da sich bei demselben nur sehr schwer genaue und brauchbare Barometer- und Thermometerbeobachtungen anstellen lassen, möglichst vermeiden. Namentlich machen kalte Winde bei starkem Sonnenschein es unmöglich, die wahre Temperatur des Quecksilbers und der Luft zu erfahren. Es ist am räthlichsten, ruhige und bewölkte Tage, an denen das Thermometer zwischen 8^0 und 12^0 R. steht, zu benützen. Bei Höhenmessungen mittelst eines einzigen Barometers ist überdies für die erste Beobachtung an der untern Station die Zeit die beste, wo das Barometer daselbst die diesem Orte zukommende mittlere Barometerstandshöhe zeigt, weil dann die Aenderung des Luftdruckes zwischen beiden an dieser Station angestellten Beobachtungen unbedeutend, ja, was noch wichtiger ist, und sonst seltener eintrifft, fast gleichförmig ist. Nur in Fällen, wo die horizontale Entfernung der beiden Stationen gering ist, verdient die Zeit, zu welcher das Maximum des Luftdruckes (siehe S. 281) stattfindet, den Vorzug, weil da die Dichte der Luft jener des Quecksilbers am nächsten steht. Ferner sollen die Beobachtungen erst eine oder zwei Stunden nach Sonnenaufgang beginnen und, wo möglich, eben so lange vor Sonnenuntergang beendigt werden.

Schließlich mögen hier noch einige auf die Art, wie die nöthigen Beobachtungen selbst anzustellen sind, bezügliche Bemerkungen Platz finden. Auf dem Wege zum Beobachtungsorte halte man das Barometer stets in einiger Entfernung vom Körper und wo möglich auf dessen Schattenseite. Macht man Halt, so hüte man sich dasselbe auf feuchten Boden oder auf von der Sonne stark erwärmte Felsen oder dergleichen zu legen. An der Beobachtungsstation selbst hänge man es an dem zugehörigen Dreifuß (man sehe S. 239) oder an einem in eine Mauer, in einen Fels, einen Baum oder dgl. eingeschlagenen, eisernen Haken vertikal auf und schütze es durch um seinen unteren Theil herumgelegte Steine oder Erdschollen gegen Schwankungen. Es soll immer im Schatten hängen und gegen den Windanfall möglichst gedeckt sein. Den Schatten bietet entweder die Mauer, der Fels, der Baum u. dgl. oder der Dreifuß, woran das Barometer aufgehängt ist, oder ein eigener, zu diesem Behufe aufgespannter Schirm. Nach Aufhängung des Barometers darf nicht gleich zur Beobachtung an demselben geschritten, sondern es muß noch so lange (bei trübem Wetter und bei in Metall gefaßten Barometern mindestens $1/4$, bei heiterer, sonniger Witterung und bei Barometern in hölzerner Fassung wenigstens $1/2$ Stunde) gewartet werden, bis man versichert sein kann, daß das am Barometer festgemachte Thermometer die Temperatur des Quecksilbers in der Barometerröhre richtig angibt. Diese Temperatur muß vor Ablesung des Barometerstandes bestimmt werden, damit nicht bei der länger währenden Nähe des Beobachters, welche zum Behufe der genauen Maßstab- und Nonius-Einstellung am Barometer erforderlich ist, das Thermometer stärker als das Quecksilber im Barometer erwärmt und so die Temperatur dieses Quecksilbers unrichtig bestimmt werde. Das Thermometer, womit die Temperatur der Luft gemessen wird, muß an einer beschatteten, der freien Luft, aber nicht einem partiellen Luftstrome, ausgesetzten Stelle, — die 5 bis 6 Fuß über dem

Boden sich befindet und nicht kurz vorher von directen Sonnenstrahlen getroffen wurde, auch nicht besonders feucht ist, — aufgehängt werden, so daß es zugleich auch immer wenigstens einige Zolle weit von dem Gegenstande absteht, an dem es aufgehängt worden. Es gehört überdies viel Behutsamkeit dazu, um den wahren Wärmegrad zu finden, weil das Thermometer sogleich seinen Stand ändert, wie die Sonne sich zeigt, oder hinter Wolken tritt und Winde mehr oder weniger lebhaft wehen. Hat man die erforderlichen Beobachtungen gemacht und die Ergebnisse notirt, so mißt man noch die Höhe der untern Quecksilberoberfläche des Barometers über dem Erdboden, um nach diesen an beiden Stationen gemessenen Höhen die nachher berechnete Höhe (H) corrigiren zu können. Hat man wegen Unzugänglichkeit eines der zwei Punkte, deren Höhe über einander zu bestimmen ist oder aus irgend einem andern Grunde die Instrumente um eine Strecke höher oder niedriger aufstellen müssen, so ist am Schlusse der Beobachtung auch die Höhe dieser Strecke zu schätzen oder durch Nivelliren zu messen, um auch sie dann bei der aus den Beobachtungen berechneten Höhe H gehörig mit in Anschlag zu bringen.

139 Gleichgewicht gemengter Gase. Die Erfahrung lehrt, daß wenn ungleichartige, auf einander nicht chemisch einwirkende Gase gleichzeitig in einem bestimmten Raume vorhanden sind, das Gemenge derselben eine Spannkraft äußert, welche der Summe der Spannkräfte der ungleichartigen Gemengtheile gleich ist, so daß jedes Gas im Gemenge die nämliche Spannkraft besitzt, als ob es allein den besagten Raum erfüllte. Hieraus folgt, daß jedes dieser Gase gegen das andere sich wie eine äußerst poröse, leicht durchdringliche Masse verhalte, welche demselben, ohne dessen Dichte und Volum zu ändern, gestattet, sich in Folge der zwischen seinen Molekeln thätigen Abstoßung gleichförmig auszubreiten, und daß demnach heterogene, mit einander in Berührung gebrachte Gase im Gleichgewichtszustande gleichförmig gemengt sein müssen. Gase, zwischen welchen keine chemische Action stattfindet, verhalten sich also bei gegenseitiger Berührung ganz passiv gegen einander (ein Satz, der zuerst von Dalton aufgestellt wurde), jedes ist für das andere nur als ein mechanisches Hinderniß zu betrachten, welches das Eindringen der Theilchen des eines Gases in die Zwischenräume des andern (gleichsam durch Verengung des Zuganges) verzögert. Die besagte gleichförmige Mengung tritt selbst in dem Falle ein, wo ein spezifisch leichteres Gas (z. B. Wasserstoff) über einem spezifisch schwereren (z. B. Kohlensäure) lagert und beide nur durch eine enge Oeffnung, oder einen engen Kanal mit einander in Communication stehen (indem z. B. beide Gase in übereinander angebrachten und durch eine enge Röhre in Verbindung gesetzten Gefäßen sich befinden).

140. Diffusion der Gase. Darunter versteht man im Allgemeinen die eben besprochene Erscheinung, daß in Berührung gebrachte Gase, selbst der Wirkung der Schwere entgegen, sich mit mehr oder weniger Schnelligkeit in einander gleichförmig verbreiten (diffundiren). Insbesondere bezeichnet man mit diesem Namen aber die Verbreitung der Gase in einander durch poröse, sie trennende Scheidewände hindurch, welche Verbreitung offenbar mit der in **122** besprochenen Endosmose eine große Aehnlichkeit hat. Graham, welcher dieser Klasse von Erscheinungen eine vorzügliche Aufmerksamkeit widmete, gelangte durch seine Untersuchungen zu folgendem Gesetze. Wenn zwei Gase durch eine für dieselben durchdringliche Scheidewand, (aus thierischer Blase, gebranntem und nicht glasirtem Thon, aus mit Wasser angerührtem und nachher getrocknetem Gips u. s. w.) getrennt sind und sich unter gleichem Drucke befinden, so dringt von jedem derselben ein mit der Quadratwurzel aus seiner Dichte im umgekehrten Verhältnisse stehendes Volum (Diffusions-Volum) durch die Scheidewand zu dem andern Gase hinüber, worauf beiderseits wieder Ruhe (Gleichgewicht) stattfindet. So sind z. B. die Diffusions-Volume des Wasserstoffes und der atmosphärischen Luft 3·83 und 1, Zahlen, die mit den Quadratwurzeln aus den Dichten des Wasserstoffes und der atmosphärischen Luft im umgekehrten Verhältnisse stehen. Befinden sich beide Gase nicht unter gleichem Drucke, so tritt, schon bevor diesem Gesetze Genüge geleistet ist, Gleichgewicht ein.

141. Gleichgewicht absorbirter Gase. Schon in **22** wurde gezeigt, daß tropfbare und poröse Körper von einem Gase, mit dem sie in Berührung stehen, eine gewisse (oft sehr bedeutende) Menge aufnehmen (einsaugen oder absorbiren). Die Ursache hievon ist eine doppelte: 1. die Ausdehnsamkeit des Gases, in Folge welcher dasselbe bei der fortwährenden Tendenz, sich in einen größeren Raum auszubreiten, auch in die Poren des festen oder tropfbaren Körpers so lange eindringen muß, bis die Expansivkraft des eingedrungenen (absorbirten) Theiles und des äußeren Gases einander das Gleichgewicht halten, und 2. eine Anziehung (Adhäsion) zwischen den Theilchen des Gases und des absorbirenden Körpers, deren Stärke von der materiellen Beschaffenheit beider Stoffe abhängt. Wäre nur die Ausdehnsamkeit allein thätig, so müßte das absorbirte Quantum immer die nämliche Dichte besitzen, wie das äußere Gas. Kömmt aber noch die besagte Anziehung hinzu, welche der Expansivkraft des Gases entgegenwirkt, dieselbe daher schwächt (so daß das in dem absorbirenden Körper enthaltene Gas ein Gas von geringerer spezifischer Expansivkraft darstellt, welches nach **131** mit dem äußeren, eine größere spezifische Expansivkraft besitzenden Gase nur dann ins Gleichgewicht treten kann, wenn es eine größere Dichte hat als dieses, also bei demselben durch Dichte ersetzt ist, was ihm an spezifischer Expansivkraft fehlt), so muß die Dichte des Gases in den Poren des festen oder tropfbaren Körpers über jene des äußeren Gases so lange gesteigert werden, bis die Expansivkräfte beider Gasmengen gleich geworden sind, und diese Verdichtung ist unter sonst gleichen Umständen offenbar desto größer, je stärker der absorbirende Körper anziehend auf das Gas wirkt. Uebrigens hängt die Gasmenge, welche ein Körper absorbirt, von der Dichte des freien Gases und von der herrschenden Temperatur ab. Wird die Dichte und somit auch die Expansivkraft dieses Gases vermehrt oder vermindert, so muß auch das absorbirte Gas, damit es mit ersterem im Gleichgewichte bleiben kann, an Dichte entsprechend zu- oder abnehmen, und zu diesem Ende von dem porösen Körper ein neues Gasquantum absorbirt oder von der bereits absorbirten Menge ein entsprechender Theil frei gelassen werden. Aendert sich die Temperatur des äußern und des absorbirten Gases in gleichem Grade, so ist der Erfolg verschieden, je nachdem das äußere Gas sich frei ausdehnen kann, oder daran dadurch gehindert wird, daß es in einem nicht großen abgeschlossenen Raume (z. B. in einem abgesperrten Gefäße) enthalten ist. Im ersteren Falle wird die durch Temperaturveränderung bewirkte Erhöhung oder Verminderung der Expansivkraft des äußeren Gases durch entsprechende Ausdehnung oder Zusammenziehung desselben im freien Raume wieder aufgehoben, daher der Druck, womit es dem absorbirten entgegenwirkt, unverändert bleibt, während der Druck des absorbirten Gases nach außen bei Erwärmung wächst und bei Erkaltung abnimmt, so daß das frühere Gleichgewicht nicht mehr fortbestehen kann, und eine Erwärmung das Freilassen eines Theils des absorbirten Gases, eine Erkaltung hingegen das Absorbirtwerden eines neuen Gasquantums zur Folge haben muß. Im zweiten Falle, wo nämlich das nicht absorbirte Gas und der absorbirende Körper in einem abgeschlossenen Raume enthalten sind, erfährt, wenn die Temperatur des ganzen Raumes in demselben Grade erhöht oder erniedrigt wird, die Expansivkraft des freien und absorbirten Gasantheils in gleichem Maße eine Steigerung oder eine Verminderung, es können daher die Mengen beider Antheile sich nicht ändern. Wird aber (durch Erwärmen des Körpers, der das Gas absorbirt enthält) nur der absorbirte Antheil allein auf eine höhere Temperatur gebracht, so muß von demselben, da seine Expansivkraft über jene des freien Gases gesteigert wird, so lange aus dem besagten Körper entweichen (die Menge des absorbirten Gases also ab- und jene des freien zunehmen), bis in beiden Antheilen wieder Gleichheit der Expansivkraft hergestellt ist. Eine alleinige Erkaltung des absorbirten oder eine alleinige Erwärmung des nicht absor-

birten Gasantheils muß natürlich das entgegengesetzte Resultat (d. i. die Zunahme des absorbirten und die Abnahme des freien Gasquantums) zur Folge haben. Wie durch Erwärmen oder Erkalten muß auch durch Verdichten oder Verdünnen nur des freien Gases (da hiedurch dessen Expansivkraft ebenfalls erhöht oder vermindert wird) die Menge des absorbirten Gases vermehrt oder vermindert werden. Die Absorbtion gemengter Gase erfolgt so, als wenn jeder der ungleichartigen Bestandtheile mit der Dichte, die er im Gemenge besitzt, für sich allein mit dem absorbirenden Körper in Berührung stünde, so daß dieser von jedem Bestandtheil eine der Dichte und materiellen Beschaffenheit desselben entsprechende Menge aufnimmt. Enthält ein Körper schon irgend ein Gas absorbirt, und man bringt ihn noch mit einem andern Gase in Berührung, so gibt er einen Theil des bereits absorbirten Gases frei, absorbirt einen Theil des neuen Gases, und sowohl im absorbirten als im freien Gase findet gleichförmige Mengung der ungleichartigen Bestandtheile statt.

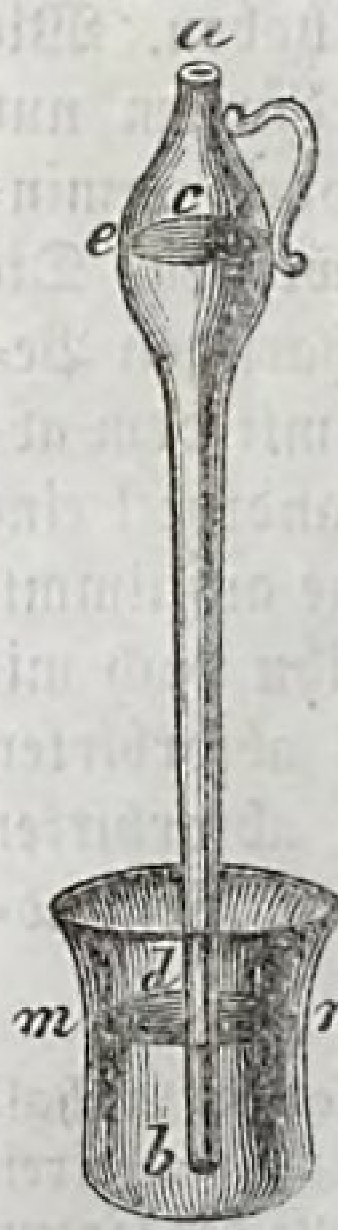
Aus dem Vorhergehenden sieht man ein, daß Körper von Gasen, die sie absorbirt enthalten, durch hinreichend starkes Erwärmen und durch Behandlung unter der Luftpumpe befreit werden können; daß man, um eine Flüssigkeit mit einem Gase (z. B. zum Behufe der Erzeugung künstlicher Mineralwässer, Wasser mit Kohlensäure) stark zu imprägniren, das betreffende Gas über der Flüssigkeit so viel als möglich verdichten und die Verdichtung bei möglichst niedriger Temperatur vornehmen müsse; warum junge Weine oder Biere beim Gähren in luftdicht verschlossenen Gefäßen die Eigenschaft zu moussiren (schäumen) erhalten (sie absorbiren nämlich fast alle durch die Gährung gebildete Kohlensäure, welche aus den verschlossenen Gefäßen nicht entweichen kann, daher auf die Flüssigkeitsoberfläche in Folge starker Verdichtung einen großen Druck übt, und geben den größten Theil dieser Kohlensäure in unzähligen aufsteigenden Bläschen, wie dies beim Champagner und Bouteillenbier der Fall ist, wieder frei, wenn durch Oeffnen des Gefäßes der besagte Druck entfernt wird); warum eine schlaffe, etwa zur Hälfte mit atmosphärischer Luft gefüllte und zugebundene Thierblase bis zum Zerspringen anschwillt, wenn man sie in nassem Zustande etwa 24 Stunden lang in einer großen, mit Kohlensäure gefüllten und über Wasser stehenden Glasglocke beläßt (es wird nämlich die Kohlensäure von dem Wasser der Blase äußerlich absorbirt und im Innern der Blase wieder frei gegeben).

142. Gleichgewicht durch bewegliche Scheidewände getrennter Gase. Wenn zwei Gase durch eine bewegliche, aber für sie nicht durchdringliche Scheidewand, z. B. durch eine Schichte oder Säule Wassers, Quecksilbers oder einer anderen tropfbaren Flüssigkeit getrennt sind, so kann nur dann Gleichgewicht herrschen, wenn der Druck, den das eine Gas auf die Scheidewand übt, durch einen gleichen Gegendruck von Seite der Scheidewand und des zweiten Gases aufgehoben wird. Ist dieser Bedingung nicht Genüge geleistet, so findet nach der Richtung des größeren Druckes so lange Bewegung (der Gase und der Scheidewand) statt, bis der besagte Druck und Gegendruck ins Gleichgewicht getreten sind. Aus diesem Grunde muß z. B. aus dem S. 273 besprochenen Heronsball, wenn um ihn herum die Luft verdünnt wird, das Wasser so lange herausspritzen, oder wenn die Röhre ab hoch genug über den Ballon emporragt, in derselben so weit aufsteigen gemacht werden, bis die im Ballon enthaltene Luft durch Erweiterung ihres Raumes an Expansivkraft so abgenommen hat, daß sie mit der Expansivkraft der äußeren verdünnten Luft und mit dem hydrostatischen Druck der in der Röhre gehobenen Wassersäule ins Gleichgewicht getreten ist.

Die im Vorhergehenden besprochenen Gesetze, welche die atmosphärische Luft und andere Gase in Bezug auf ihre Ausdehnsamkeit und den Druck, den sie üben, beobachten, enthalten den Schlüssel zur Erklärung der Wirkung vieler nützlicher Apparate, von denen hier nur folgende betrachtet werden können:

1. Der Stechheber (Fig. 256), d. i. eine wenige Fuß lange, beiderseits offene und oben mit einer größeren Erweiterung e versehene Röhre von Glas oder Blech, mittelst welcher man Flüssigkeiten aus Fässern oder anderen Gefäßen heraushebt. Wird nämlich das Ende b in die Flüssigkeit getaucht und bei a mit dem Munde gesogen (d. i. durch Erweiterung der Brusthöhle beim Einathmen aus dem Röhrenraume ad Luft in die Lunge aufgenommen), so kann die

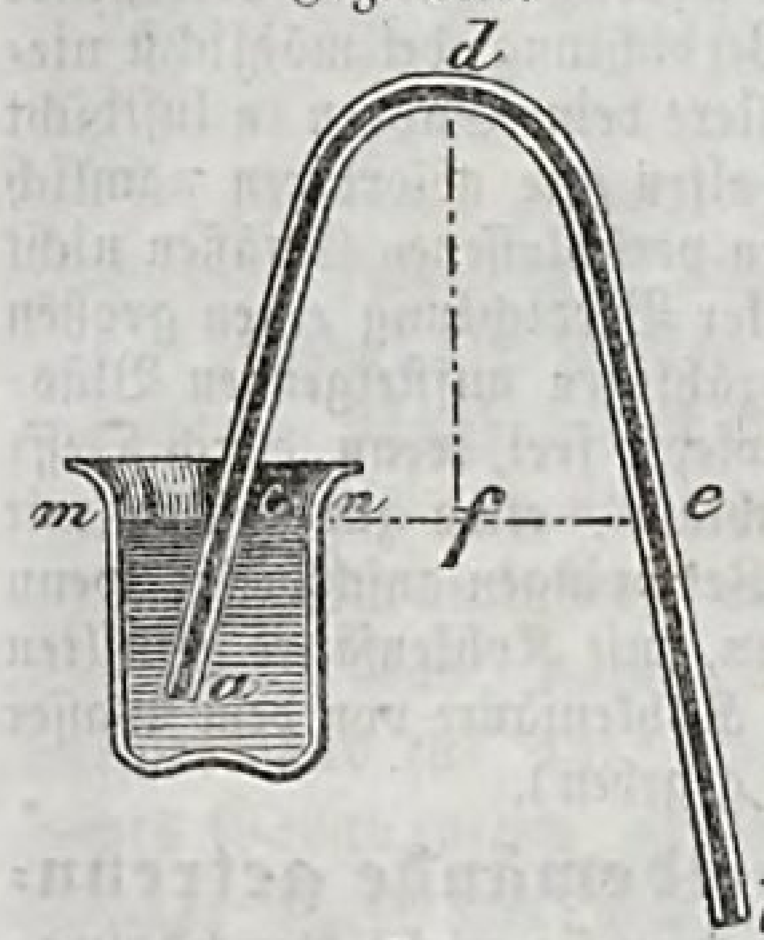
Fig. 256.



hiedurch in ad verdünnte Luft der äußeren, auf die Flüssigkeitsoberfläche mn drückenden Luft nicht mehr das Gleichgewicht halten und durch diese wird im Heber eine Flüssigkeitssäule, z.B. bis c emporgetrieben, welche, wenn man nachher die Saugöffnung a mit dem Daumen verschließt und den Heber aus der Flüssigkeit heraushebt, in diesem durch den auf b wirkenden Luftdruck schwebend erhalten wird, dann übertragen und durch Wegziehen des Daumens von a in Folge ihrer Schwere in ein anderes Gefäß ausfließen gemacht werden kann.

2. Der gekrümmte Heber, d. i. eine gebogene (gläserne oder metallene mehrere Fuß lange) Röhre ab (Fig. 257) mit ungleich langen, parallel oder nicht parallel laufenden Schenkeln. Wird der kürzere Schenkel a in eine Flüssigkeit getaucht (wir wollen, um einen bestimmten Fall vor Augen zu haben, annehmen, diese Flüssigkeit sei Wasser), und die ganze Röhre durch Saugen am Ende b oder auf irgend eine andere Art mit Wasser angefüllt, so muß dieses, wenn die Mündung b tiefer als die Oberfläche mn steht, bei b ausfließen, und das Ausfließen muß so lange fortdauern, als mn noch über b steht, und dabei die Mündung a noch unter die Flüssigkeit taucht. Die Ursache dieser Erscheinung liegt in dem Verhältnisse des auf mn und auf b wirkenden Luftdruckes und des diesem entgegenwirkenden hydrostatischen Druckes der den Heber erfüllenden Wassersäulen cd und db. Denn denkt man sich den Heber ganz mit Wasser angefüllt, so sucht der auf b wirkende Luftdruck das

Fig. 257.



Wasser in der Richtung von b nach d hin zu bewegen (weil die nur wenige Fuß hohe Wassersäule bd dem Luftdrucke, der nach S. 233 eine nahe 32 Fuß hohe Wassersäule zu tragen vermag, nicht das Gleichgewicht halten kann) und der Luftdruck auf mn strebt aus gleichem Grunde das Wasser von c nach d zu treiben. Da nun dem Luftdrucke bei b die Wassersäule bd mit einer Kraft entgegenwirkt, welche um den Unterschied zwischen dem Drucke der Wassersäule be und einer gleich hohen Luftsäule größer ist, als die Kraft, womit dem Luftdrucke auf mn durch die Wassersäule cd entgegengewirkt wird (denn die Wassersäulen cd und ed setzen, da sie die nämliche Höhe df haben, der Luft einen gleichen Druck entgegen); so findet auf mn in der Richtung von c nach d ein größerer Druck als auf b nach der Richtung von b nach d hin statt, und das Wasser im Heber muß dieser größeren Kraft folgen, mithin bei b ausfließen. So lange der kürzere Schenkel des vollen Hebers unter die Flüssigkeit taucht, und dessen Höhe (d. i. der senkrechte Abstand der obersten Heberkrümmung von der Flüssigkeitsoberfläche im Gefäße) die Höhe der Flüssigkeitssäule nicht erreicht, welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht zu halten vermag (und für Wasser nahe 32′ beträgt), sind die Bedingungen des besagten Ausfließens aus dem längeren Schenkel vorhanden, dasselbe muß also eben so lange fortdauern, und die ganze Wirkung muß (unter diesen Bedingungen) auch bei jeder anderen Flüssigkeit als Wasser stattfinden. Reicht die Mündung des kürzeren Heberschenkels bis an den Boden eines Flüssigkeit enthaltenden Gefäßes, so kann dieses durch Wirkung des Hebers ganz entleert werden. Mit zunehmender Tiefe von b unter mn wächst auch die Geschwindigkeit des Ausflusses aus dem Heber. Um das zum Behufe der Anfüllung des Hebers nöthige Saugen am längeren Schenkel bequem vornehmen zu können, oder zu verhindern, daß man beim Saugen etwas von der Flüssigkeit in den Mund bekomme, gibt man dem Heber die Form wie bei I Fig. 258. Während bei o gesogen wird, muß natürlich die Mündung b mit dem Finger zugehalten werden oder mit einem Pfropfe verschlossen sein. Wird nach erfolgter Füllung der ganzen Röhre ab der Finger oder Pfropf entfernt, so beginnt die Wirkung des Hebers. Der bei II derselben Figur abgebildete Heber dient für Flüssigkeiten, bei welchen, weil sie dem Athmungsprocesse lästige oder schädliche Dämpfe aussenden, das Saugen (bei b oder o) unausführbar ist. Er wird dadurch gefüllt, daß man nach Verpfropfung der Oeffnung b von der mittelst

Fig. 258.

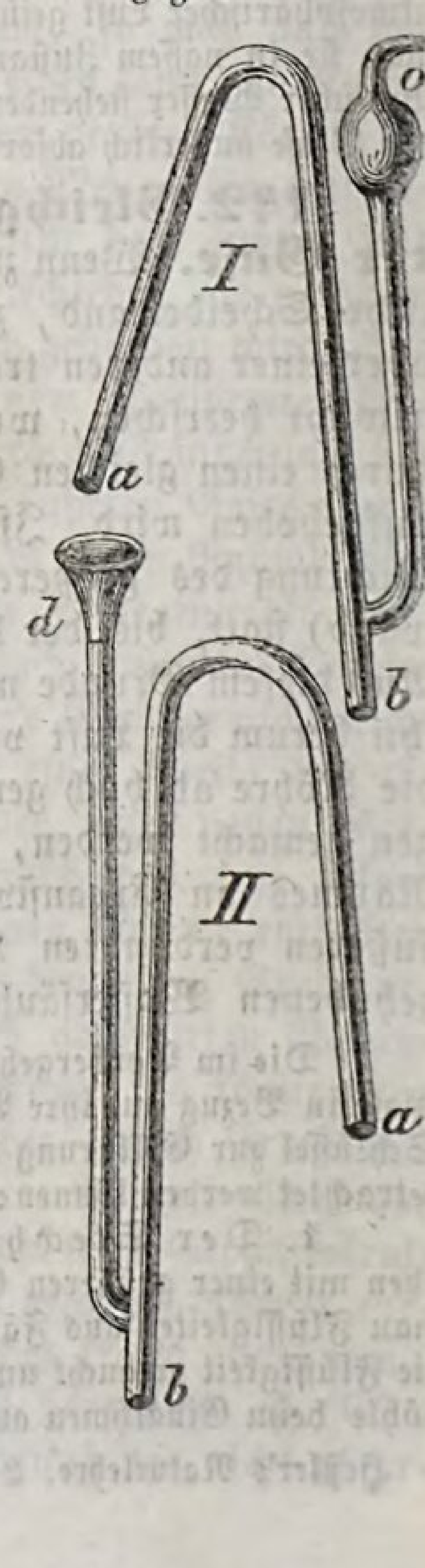


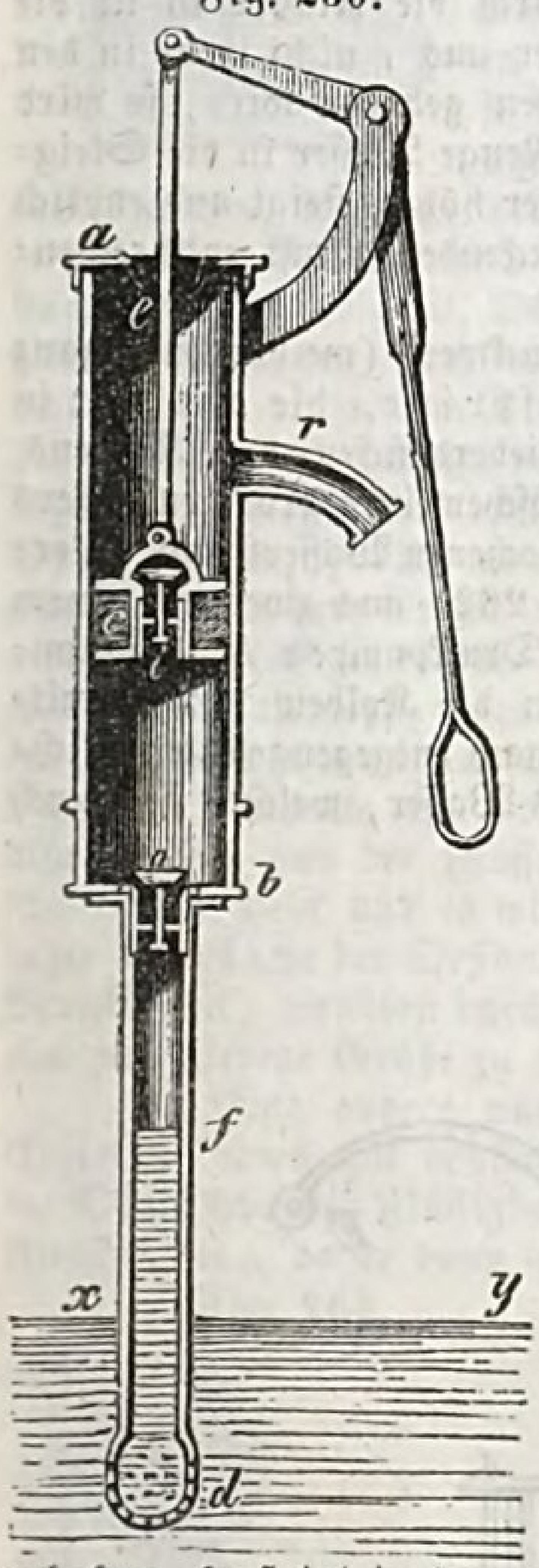
Fig. 259.



des Hebers abzuziehenden Flüssigkeit so lange in den Trichter d eingießt, bis sie nach hydrostatischem Gesetze auch den zweiten communicirenden Arm ba anfüllt und bei a herauszufließen anfängt. Wird dann das Ende a schnell in die besagte abzuziehende Flüssigkeit getaucht, und aus b der Pfropf herausgezogen, so tritt der Heber in Wirksamkeit. Auf der Wirkung eines gekrümmten Hebers beruht die Erscheinung an dem in Fig. 259 abgebildeten Vexirbecher. Wird derselbe nämlich so weit mit Flüssigkeit gefüllt, daß diese in dem gekrümmten Heber ab (dessen kürzerer Schenkel a im Innern des Bechers mündet, während der längere b unten im Fuße endigt) bis nahe an den obersten Punkt c reicht, so bedarf es nur einer geringen Neigung des Bechers nach dem kürzeren Schenkel hin, damit die Flüssigkeit auch in den langen Schenkel eindringe und dann in der Gänze unten bei b ausfließe. Wahrscheinlich liegt auch der Grund, warum gewisse Quellen auf der Erde nur periodisch (immer nur nach gewissen Zeitabschnitten) fließen, darin, daß sich im Innern der Erde ein Wasserbehältniß befindet, welches vermittelst eines, einen gekrümmten Heber darstellenden Kanals mit dem Ausflußorte der Quelle an der Erdoberfläche communicirt. Es kann da natürlich der Heber erst dann zu wirken, mithin die Quelle zu fließen anfangen, wenn das Wasser im vorbesagten Behältnisse durch allmäligen Zufluß eine solche Höhe erlangt hat, daß sich der Heber anfüllt, wo dann die Quelle so lange fließen muß, bis das Behältniß bis ans Ende des kürzeren Heberarmes entleert ist.

3. Die Saugpumpe (gewöhnliche Wasserhebpumpe) besteht aus einer metallenen oder hölzernen Röhre ab (Fig. 260), dem sogenannten Stiefel oder Steigrohr, worin sich ein Kolben c luftdicht auf und ab bewegen läßt, der in der Mitte durchbrochen und daselbst mit einer von unten nach oben sich öffnenden Klappe i versehen ist. An den Stiefel schließt sich unten ein höchstens 28 Fuß hohes Rohr (das Saugrohr) bd an, welches mit dem Ende d in das zu hebende Wasser taucht und an der Vereinigungsstelle mit dem Stiefel eine in diesen hinein sich öffnende Klappe (die Saugklappe) o hat. Wird der Kolben (mittelst eines auf das obere Ende der Kolbenstange e wirkenden Hebels oder dgl.) in die Höhe gezogen, so wird die Luft im Stiefel unter dem Kolben verdünnt, es hebt nun die dichtere Luft im Saugrohre die Klappe o, dringt zum Theil in den Stiefel, nimmt dadurch an Dichte ab, und kann dann dem äußeren, auf die Oberfläche xy des zu hebenden Wassers wirkenden Luftdrucke nicht mehr das Gleichgewicht halten, so daß dieser das Wasser im Saugrohre, z. B. bis f steigen macht. Wird jetzt der Kolben niederbewegt, so sucht die unter demselben befindliche Luft auszuweichen, schließt dabei die Klappe o (so daß im Saugrohre die Luft ihre vorige Dichte und mithin das Wasser seinen Stand bei f behält), öffnet in Folge der Zusammendrückung (Verdichtung), die sie durch den Kolben erfährt, die Klappe i in diesem und tritt zum Theil in den Stiefelraum über den Kolben. Bei fortgesetzter Auf- und Abbewegung des Kolbens wiederholt sich genau der eben beschriebene Hergang, das Wasser steigt dabei im Saugrohre immer höher, und durch die Kolbenklappe wird stets eine neue Menge Luft aus dem Pumpenstiefel fortgeschafft, bis endlich nach einer gewissen Anzahl von Kolbenzügen das Wasser hoch genug über der Saugklappe o anlangt (da vorausgesetzter Maßen der Abstand dieser Klappe vom Wasserspiegel xy weniger beträgt als die größte Höhe der Wassersäule, die der Luftdruck zu tragen vermag), um beim nächsten Niedergange des Kolbens von diesem erreicht zu werden und durch dessen Klappe über denselben hinauf zu dringen. Wird jetzt der Kolben (und somit auch das darüber stehende Wasser) gehoben, so steigt in den von dem Kolben verlassenen Raum sogleich aus dem Saugrohre wieder Wasser nach, beim nun folgenden Kolbenniedergange dringt dieses wieder durch die Klappe i, und so wächst bei fortgesetztem Spiele des Kolbens die Wassersäule über demselben endlich zu einer solchen Höhe an, daß sie die Ausflußröhre r erreicht und bei derselben ausfließt.

Fig. 260.

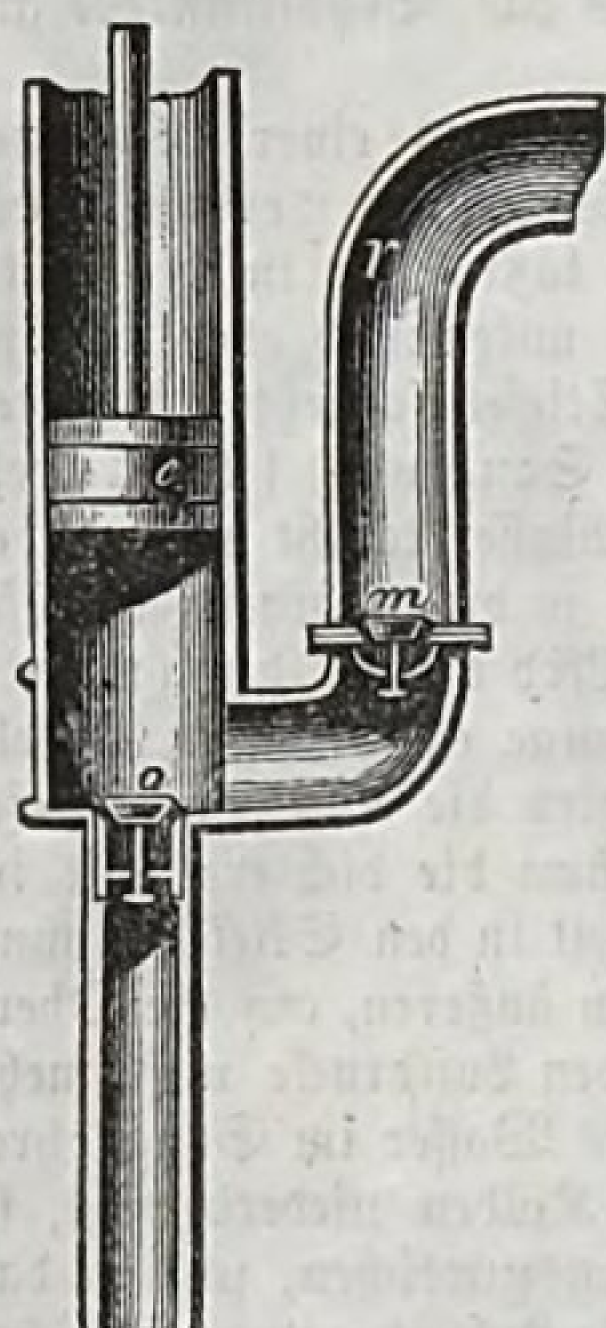


Soll die Saugpumpe in der beschriebenen Art wirken, so muß der äußere Luftdruck das Wasser durch die Klappe o zu einer solchen Höhe (h) über den Wasserspiegel xy in den Stiefel hineintreiben, daß es, wenn der Kolben in seine unterste Stellung gebracht wird, über dem Kolben zu stehen kömmt. Ließe sich mit der Saugpumpe, welche, so lange das Wasser noch nicht über das Kolbenventil getreten ist, als Luftpumpe (luftverdünnend) wirkt, unter dem Kolben

im Stiefel ein luftleerer Raum erzeugen, so betrüge die besagte Höhe h nahe 32 Fuß, mithin könnte das Saugrohr vom Wasserspiegel xy aus bis an die Klappe o (vorausgesetzt, daß der Kolben in seiner untersten Stellung den Boden des Stiefels erreicht) fast eben so hoch sein. Da sich aber mittelst einer Luftpumpe nie eine Luftleere, sondern immer nur eine von der Größe des schädlichen Raumes abhängige Luftverdünnung erzeugen läßt (**133**), so muß die Höhe des Saugrohres immer weniger als 32 Fuß und zwar desto weniger (oft nur 24 bis 26 Fuß) betragen, je größer der erwähnte schädliche Raum ist, und überdies je weniger vollkommen luftdicht der Kolben im Stiefel geht und die Kolbenklappe schließt. Der Höhe des Stiefels von der Saugklappe o bis an die Ausflußröhre r wird nur dadurch eine Grenze gesetzt, daß die die Pumpe in Bewegung setzende Kraft (außer der Reibung zwischen Kolben und Stiefel) den hydrostatischen Druck der mit dem Kolben zu hebenden (vom Kolben bis zur Ausflußröhre reichenden) Wassersäule überwinden muß. Es kann daher das Steigrohr unter sonst gleichen Umständen desto höher sein, mit je größerer Kraft der Kolben gehoben wird und je kleiner der Querschnitt des letzteren ist.

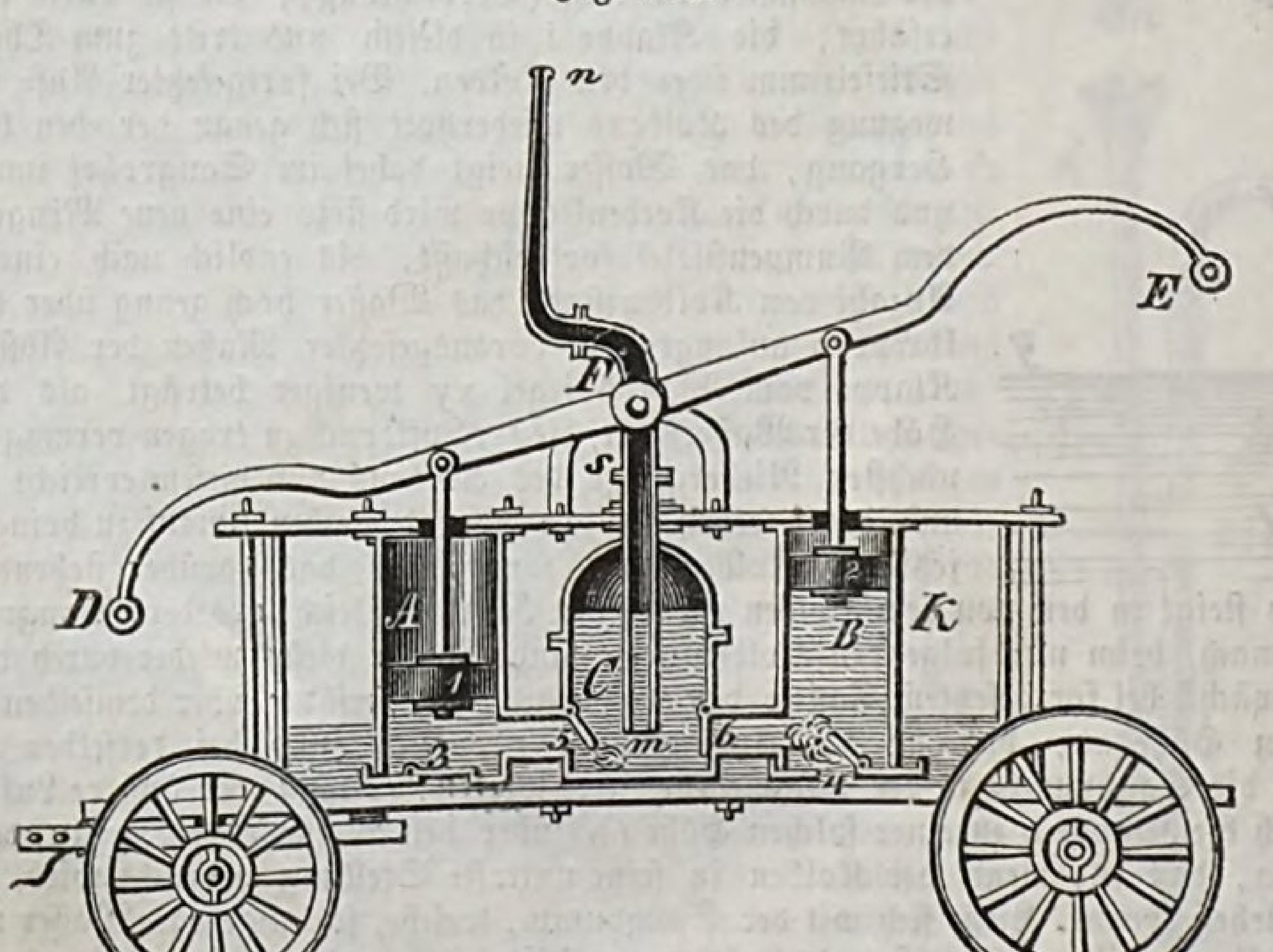
4. **Vereinigtes Saug- und Druckwerk.** Zu einem solchen wird jede Saugpumpe, wenn man ihr, wie Fig. 261 zeigt, einen massiven (mit keiner Klappe versehenen) Kolben c gibt und an der Seite des Stiefels, zunächst über der Saugklappe o, eine gekrümmte aufwärts gehende Röhre (Steigröhre) r anbringt, die mit einer vom Stiefel her sich öffnenden Klappe m versehen ist. Das Wasser, welches beim Heben des Kolbens durch die Klappe o in den Stiefel steigt, wird beim Niederdrücken des Kolbens, wo o sich schließt, durch die Klappe m in die Steigröhre r getrieben. Da m das Wasser aus r nicht mehr in den Stiefel zurück läßt, selbst wenn der Kolben gehoben wird, so wird bei jedem Kolbenniedergange eine neue Menge Wasser in die Steigröhre gepreßt, so daß dieses darin immer höher steigt und endlich oben mit einer der den Kolben niederdrückenden Kraft entsprechenden Geschwindigkeit herausgetrieben wird.

Fig. 261.



Ein so vereinigtes Saug- und Druckwerk (meistens mit ganz kurzem Saugrohre) ist die Handfeuerspritze, die aber nur in Unterbrechungen, nämlich nur beim Niederdrücken des Kolbens, einen Wasserstrahl gibt. Um, wie es zum Löschen eines größeren Feuers immer nothwendig ist, einen ununterbrochenen Wasserstrahl zu erhalten, wird die Feuerspritze (Fig. 262) aus zwei mit einem Heronsball (Windkessel) C vereinigten Druckpumpen A, B zusammengesetzt. Diese Pumpen pressen, wenn die Kolben 1, 2 vermittelst des in F unterstützten Hebels D, E nach entgegengesetzten Richtungen in Bewegung gesetzt werden, das Wasser, welches sie durch

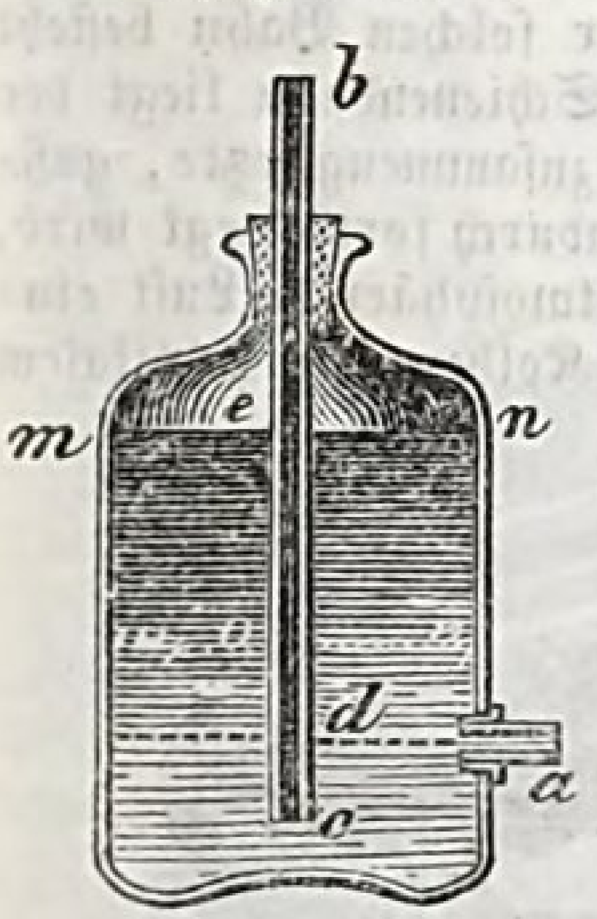
Fig. 262.



die Bodenklappen 3, 4 aus einem Kasten K, worin sie stehen, aufnehmen, abwechselnd durch die Klappen 5, 6 in den Windkessel. Hiedurch wird die in dem Windkessel enthaltene Luft in den oberen Theil desselben zusammen gepreßt und treibt durch den Druck, den sie dann fortwährend auf das Wasser im Windkessel übt, dieses in einem ununterbrochenen Strahle durch die Röhre mn heraus. Dem äußeren, am Ende mit einer engen Ausflußöffnung versehenen Theile sn dieser Röhre läßt sich mit Hilfe eines doppelten Knie- oder Kugelgelenkes s jede beliebige Richtung geben und durch Zuhalten der Ausflußöffnung, so lange bis die Luft im Windkessel stark comprimirt ist, kann dem Wasserstrahl gleich anfangs eine bedeutende Tragweite ertheilt werden.

5. Die Mariotte'sche Flasche, d. i. eine gewöhnliche Flasche (Fig. 263), die in einiger Entfernung vom Boden an der Seite eine Oeffnung (oder eine Ausflußröhre) a hat und

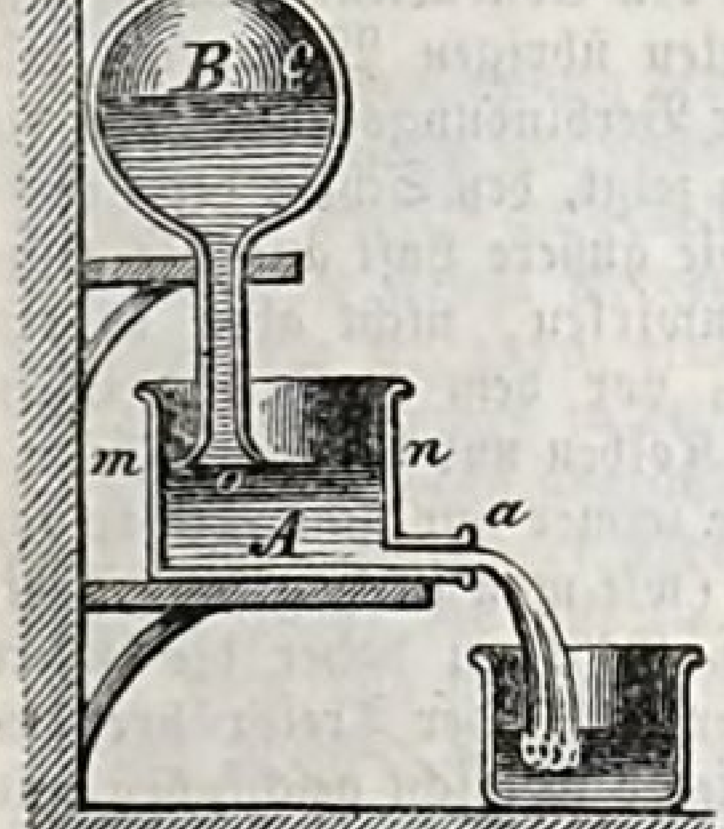
Fig. 263.



durch deren Hals eine beiderseits offene Röhre bc luftdicht so hindurchgeht, daß sie sich nach Belieben in die Höhe ziehen oder weiter in die Flasche hineinschieben läßt. Ist bei geschlossenem a die Flasche und die Röhre z. B. bis mn mit Flüssigkeit gefüllt, und das untere Röhrenende c steht (wie in der Figur) tiefer als die Seitenöffnung a, so fließt die Flüssigkeit bei dem geöffneten a so lange aus, bis sie in der Röhre, in welcher sie gleichzeitig schnell sinkt, bei dem mit a in gleicher Höhe gelegenen Punkt d angelangt ist, wo sogleich das Ausfließen aufhört, weil dann der auf a und auf die Oberfläche d in der Röhre wirkende Luftdruck dem Drucke der über dem Niveau von a und d bis mn hin befindlichen Flüssigkeitsmasse und der Expansivkraft der im Raume e enthaltenen, etwas verdünnten Luft das Gleichgewicht hält. Wird nun die Röhre so weit in die Höhe gezogen, daß ihr unteres Ende oberhalb a, z. B. bei o steht, so fängt alsogleich das Ausfließen bei a wieder an, und dauert, während von o aus beständig Luftblasen durch die Flüssigkeit in den Raum e emporsteigen, so lange fort, bis die Flüssigkeitsoberfläche in der Flasche bei a angelangt ist, und so lange das Röhrenende o noch in die Flüssigkeit taucht, erfolgt der Ausfluß durch a mit constanter Geschwindigkeit. Der oberhalb der Niveaufläche m_1n_1 von o stehenden Flüssigkeitsmasse hält nämlich der durch die Röhre wirkende Luftdruck das Gleichgewicht und der Ausfluß bei a erfolgt nur unter dem Drucke einer Flüssigkeitssäule von der Höhe do; diese bleibt aber stets die nämliche und bedingt daher dieselbe Ausflußgeschwindigkeit, so lange in der Flasche oberhalb m_1n_1 noch Flüssigkeit enthalten ist. Denn in dem Maße als bei a Flüssigkeit ausströmt, die Oberfläche m_1n_1 also unter o sinkt, fällt, indem von o aus Luft in den Raum e emporsteigt (welche durch ihre Expansivkraft dem äußern Luftdruck entgegenwirkt und macht, daß er nicht mehr eine Flüssigkeitssäule von solcher Höhe (m_1m) wie früher zu tragen vermag) von der Flüssigkeit oberhalb m_1n_1 augenblicklich so viel herab, daß die Fläche m_1n_1 das Röhrenende o wieder erreicht, mithin der vorige Gleichgewichtsstand und die vorige Druckhöhe do wieder hergestellt wird. Von dem Momente an, wo oberhalb m_1n_1 keine Flüssigkeit mehr vorhanden, das Röhrenende o also bleibend aus der Flüssigkeit hervorgetreten ist, sinkt die Flüssigkeitsoberfläche in der Flasche immer mehr und es wird somit die Ausflußgeschwindigkeit immer kleiner, je näher die besagte Oberfläche der Oeffnung a kömmt. Wegen der constanten Ausflußgeschwindigkeit und der Möglichkeit, derselben durch entsprechende (höhere oder niedrigere) Stellung der Röhre bc leicht eine verschiedene Größe zu geben, findet die Mariotte'sche Flasche mancherlei Anwendung.

6. Eine andere nützliche, auf der Wirkung des Luftdruckes beruhende Vorrichtung zur Erzielung eines mit constanter Geschwindigkeit stattfindenden Ausflusses zeigt Fig. 264. Wird die Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäße A stets bei derselben Höhe mn erhalten, so muß der Ausfluß bei a, da er dann immer unter der nämlichen Druckhöhe an erfolgt, mit constanter Ge-

Fig. 264.

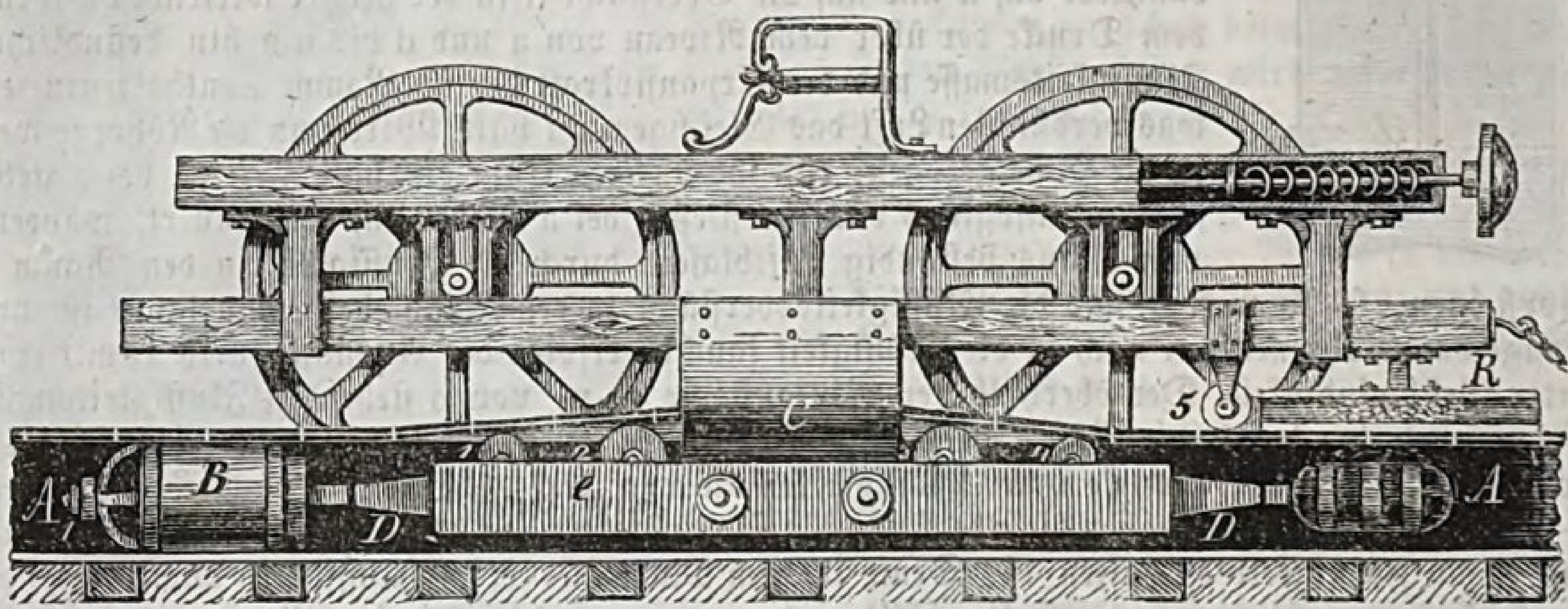


schwindigkeit vor sich gehen. Nun fließt aber (da der Halsrand o des Gefäßes B die Flüssigkeitsoberfläche in A gerade berührt), wenn die Oberfläche mn nur etwas sinkt, sogleich aus dem Gefäße B, unter Eindringen der Luft durch o, Flüssigkeit aus und die Oberfläche mn steigt, und zwar nur so lange, bis sie den Hals o erreicht hat (denn dann hält der auf sie wirkende Luftdruck der Flüssigkeit in oB und der Luft in c wieder das Gleichgewicht und der Ausfluß aus B hört auf); es wird daher die Flüssigkeitsoberfläche in A stets bei gleicher Höhe (im Niveau) mit o erhalten, mithin bleibt für den Ausfluß bei a die Druckhöhe stets die nämliche. Ganz aus demselben Grunde, aus welchem hier die aus dem Halse o des Gefäßes B hervorbringende Flüssigkeit die Oberfläche mn in A während des Ausflusses bei a immer bei derselben Höhe erhält, wird auch bei der auf S. 167 beschriebenen und durch Fig. 146 erläuterten Lampenvorrichtung das Oel im Gefäße B

durch das aus dem Halse e des umgestürzten Gefäßes A (welches mit dem vorspringenden Rande seines Bodens auf dem Rande der obern Oeffnung des Gefäßes B ruht) hervordringende Oel die Oeloberfläche in B stets bei der nämlichen Höhe erhalten, so daß auch in allen Brennern b_1 b u. s. w. das Oel, ungeachtet fortwährender Consumtion desselben durch Verbrennen, immer gleich hoch steht, die Dochte also immer in gleicher Weise gespeist werden und mithin ein stets gleich starkes Licht erzielt wird. f in Fig. 146 ist ein Draht, der, wenn das mit Oel gefüllte und mit dem Pfropfe d verschlossene Gefäß A umgestürzt in das Gefäß B versenkt wird, mit seinem untern Ende sich gegen den Boden von B stemmt, den Pfropf d aus dem Halse e des Gefäßes A empor drückt und so dem Oele den Ausfluß aus diesem Halse eröffnet.

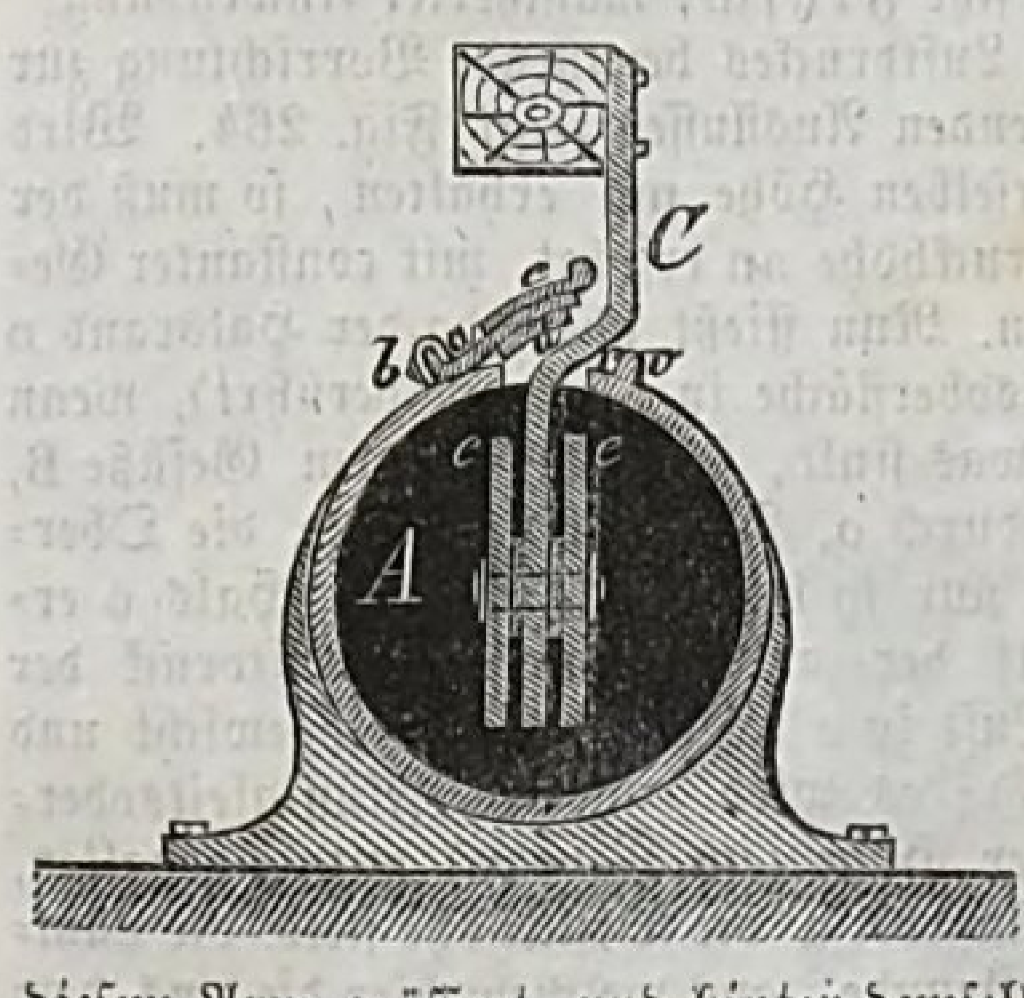
7. Eine sehr sinnreiche Anwendung des Luftdruckes ist die atmosphärische Eisenbahn, bei welcher die Wagenzüge, anstatt mittelst eines Dampfwagens (Locomotivs) durch den atmosphärischen Luftdruck ihre Bewegung erhalten. Das Wesen einer solchen Bahn besteht in Folgendem. In der Mitte zwischen den Schienen einer gewöhnlichen Schienenbahn liegt der ganzen Bahn entlang eine (aus etwa 6 bis 8 Fuß langen Stücken) zusammengesetzte, gußeiserne Röhre (Treibröhre), in welcher ein luftdicht passender Kolben dadurch fortbewegt wird, daß vor demselben die Luft verdünnt und auf seine Rückseite die äußere atmosphärische Luft einwirken gelassen wird. In Fig. 265 ist A A_1 die Treibröhre und B der Kolben (in vertikalem

Fig. 265.



Längendurchschnitte). Die Treibröhre hat oben ihrer ganzen Länge nach einen Schlitz, der mit einer Klappe luftdicht verschlossen ist, welche aus einem Lederbande besteht, das so lange wie die Treibröhre, an dieser neben dem Schlitze einerseits befestigt und zwischen zwei dicken Eisenblechstreifen eingeschlossen ist, deren jeder aus (der Länge der Treibröhre nach) neben einander gereihten Stücken besteht. Der obere dieser Streifen ist breiter als der Schlitz, um zu verhindern, daß die äußere Luft das Lederband in die Treibröhre hineindrücke, wenn die Luft darin verdünnt wird, während der untere Blechstreifen die Bestimmung hat, bei Schließung der Klappe den Schlitz gerade auszufüllen und die Treibröhre innerlich auch oben genau cylindrisch zu gestalten. In Fig. 266,

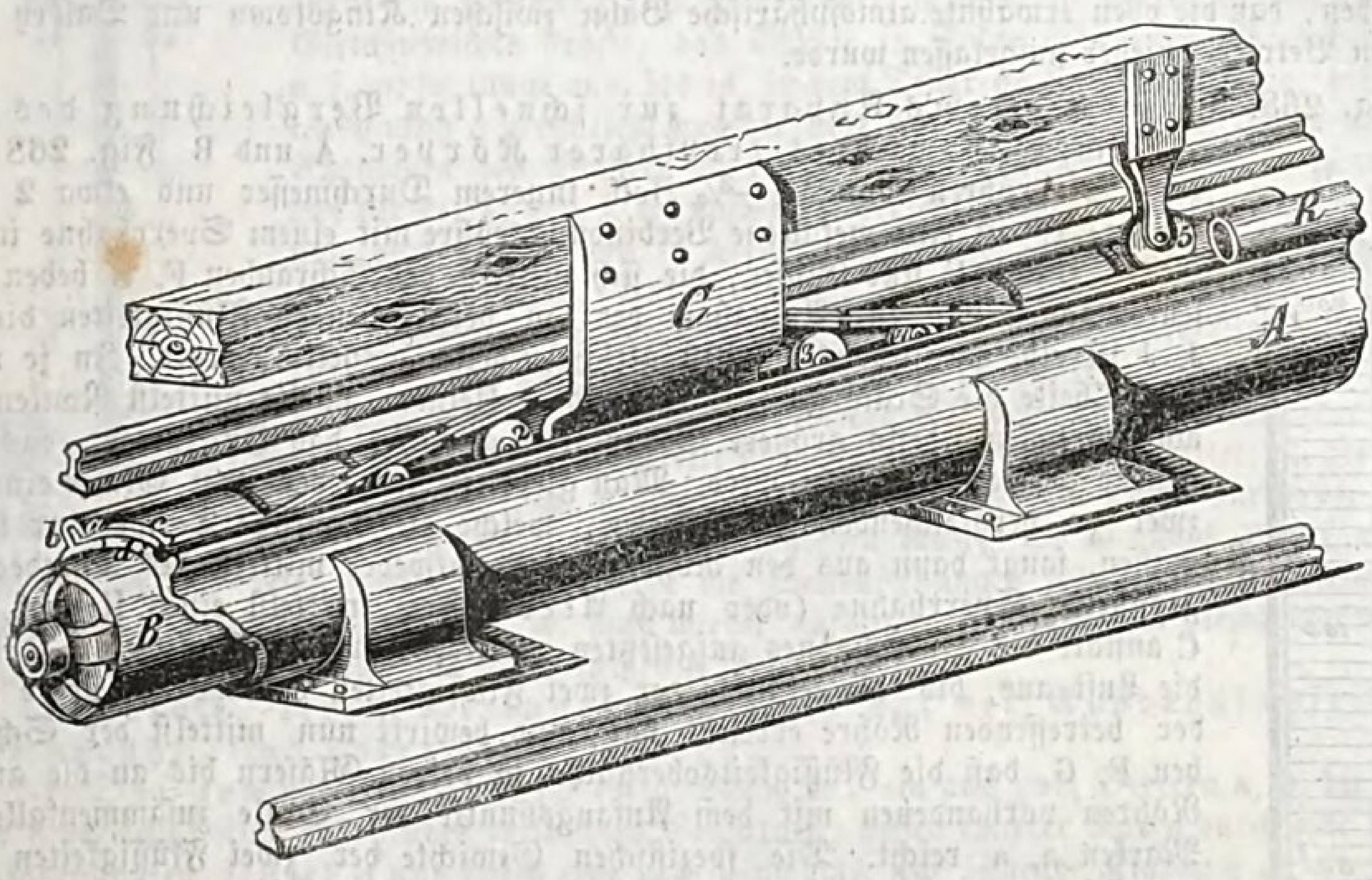
Fig. 266.



einen Querschnitt der Treibröhre darstellend, ist a das bei b befestigte Lederband und c, d sind der obere und der untere Eisenblechstreifen. An der Kolbenstange D ist mittelst eines eisernen, durch den Schlitz der Treibröhre emporgehenden Verbindungsarmes C der erste Wagen des Trains (der sogenannte Conducteur-Wagen) befestiget, so daß der im Treibrohre vorwärts schreitende Kolben den Conducteur-Wagen und den an diesen angehängten übrigen Wagenzug mit sich fortführt. Damit der Verbindungsarm C, den die Fig. 266 im Querschnitte zeigt, den Schlitz der Treibröhre frei passiren und die äußere Luft auf die Hinterfläche des Kolbens einwirken, nicht aber in den luftverdünnten Raum A_1 vor dem Kolben dringen kann, wird, während der Kolben und der Arm C fortschreiten, die Schlitzklappe immer nur unmittelbar vor diesem Arm geöffnet und hinter demselben gleich wieder geschlossen (wie man in Fig. 267 sieht, die eine perspectivische Ansicht der Treibröhre von oben darstellt). Es kann daher die äußere Luft fortwährend auf die Hinterfläche des Kolbens drücken, und der Theil der Treibröhre, den der Kolben und der Arm C bereits passirt haben, wird sogleich wieder luftdicht geschlossen und zu einer neuerlichen Luftverdünnung darin geeignet gemacht. Das besagte Oeffnen und Schlie-

ßen der Schlitzklappe zunächst vor und hinter dem Arm C wird aber durch Rollen 1, 2, 3, 4 bewerkstelligt. Diese Rollen drehen sich zwischen zwei an den Seiten der Kolbenstange befestigten Eisenschienen e (Fig. 265), und die erste und letzte Rolle hat einen etwas kleineren Durchmesser als die zwei mittleren. Die Rollen 1, 2 heben die Klappe allmälig so weit in die Höhe, daß der Arm C passiren kann, und die Rollen 3, 4 gestatten ihr nachher allmälig in ihre frühere Lage zurückzusinken und den Schlitz wieder zu verschließen. Damit dieser Verschluß sicher und mit Luftdichtigkeit zu Stande komme, wird die in den Schlitz gesunkene Klappe durch eine hinter dem Arm C am Conducteur-Wagen befestigte Rolle 5 kräftig auf den Schlitz nieder- und mit

Fig. 267.



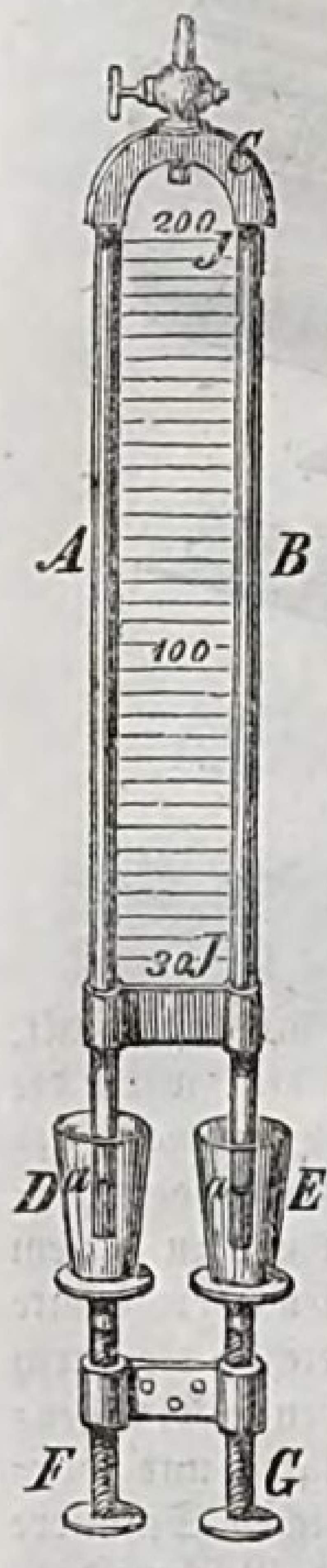
ihrem vorderen Rande in eine Schichte einer Schmiere aus Wachs und Talg hineingedrückt, welche neben dem Schlitz vorhanden ist und die Rinne r (Fig. 266) erfüllt, die, wenn die Klappe aufliegt, einerseits von dem Rande derselben und anderseits von dem Vorsprunge v gebildet wird. Da die Schmiere bei der Lufttemperatur starr ist, so muß sie zum Behuf der Herstellung des hermetischen Verschlusses der Klappe immer gehörig erweicht werden und zu diesem Ende befindet sich am Conducteur-Wagen hinter der Rolle 5 eine durch Kohlenfeuer erwärmte Röhre R befestigt, welche, indem ein Vorsprung an ihr in die Rinne r hinabreicht, die durch das Heben der Klappe aufgerissene Schmiere schmilzt. — Anstatt des beschriebenen Klappenmechanismus, welcher wegen seiner Complicirtheit, des Mangels an Dauerhaftigkeit und vorzüglich des Umstandes wegen Schwierigkeiten macht, daß der dabei unentbehrlichen Schmiere bei größerer Kälte nicht schnell genug die vorbesagte erforderliche Weichheit und Geschmeidigkeit ertheilt werden kann, sollen nach Hallette's Vorschlag über der Treibröhre längs dem Schlitze derselben zwei Schläuche (Röhren) angebracht werden, die aus biegsamem, luft- und wasserdichtem Stoffe verfertigt und mit Luft aufgeblasen sind, so daß sich ihre einander zugekehrten Seiten überall innig berühren und der Schlitz, gleichwie der menschliche Mund durch die Lippen, hermetisch geschlossen wird. Während der die Kolbenstange mit dem Conducteur-Wagen verbindende Arm zwischen den beiden (ebenfalls durch Rollen vorher aus einander gedrückten) Luftschläuchen sich fortbewegt, schließen sich diese hinter demselben immer von selbst wieder.

Die Verdünnung der Luft vor dem Kolben in der Treibröhre geschieht mittelst Luftpumpen, welche durch stationäre (feststehende) Dampfmaschinen, die längs der ganzen Bahn von Strecke zu Strecke aufgestellt sind (oder wo es die Localverhältnisse erlauben, durch Wasserkraft) in Thätigkeit gesetzt werden, und wovon jede immer nur einen Theil der ganzen Treibröhre, mit welchem sie durch eine Seitenröhre in Verbindung steht, zu versorgen hat. Jeder solche von einer Luftpumpe zu bedienende Theil der Treibröhre ist von dem nächsten durch eine Klappe eigener Einrichtung abgeschieden, welche von dem fortschreitenden Treibkolben selbst aufgestoßen wird und, nachdem derselbe passirt ist, wieder geschlossen werden muß, damit zum Behufe einer nächsten Fahrt die Luft in den Abtheilungen der Treibröhre abermals verdünnt werden kann.

Die erste atmosphärische Eisenbahn wurde im Jahre 1841 von Clegg und Samuda in Irland zwischen Kingstown und Dalkey, als Fortsetzung der nach dem gewöhnlichen System eingerichteten Eisenbahn zwischen Dublin und Kingstown angelegt. Unbestreitbare Vortheile des

atmosphärischen Eisenbahnsystems vor dem gewöhnlichen wären: 1. die viel größere persönliche Sicherheit, die es gewährt, indem bei demselben die meisten Ursachen der auf den gewöhnlichen Eisenbahnen sich ereignenden Unglücksfälle, als da sind: Zusammenstoßen zweier Trains, Heraustreten der Wagen aus den Schienen, Zerbrechen der Locomotiv-Axen u. s. w. ganz wegfallen; 2. die Möglichkeit, größere Bahnsteigungen zu überwinden, als dies bei dem gewöhnlichen Systeme thunlich ist. Die Frage, was es mit den andern, vielseitig behaupteten Vortheilen der atmosphärischen Eisenbahn, insbesondere, daß sie im Verhältniß zu den gewöhnlichen Eisenbahnen geringere, mindestens nicht größere Anlags-, Erhaltungs- und Betriebskosten erfordere, für eine Bewandtniß habe, scheint die beste Erledigung durch den Umstand erhalten zu haben, daß die oben erwähnte atmosphärische Bahn zwischen Kingstown und Dalkey nach kurzem Betriebe wieder aufgelassen wurde.

Fig. 268.



8. **Ham's Apparat zur schnellen Vergleichung des spezifischen Gewichtes tropfbarer Körper.** A und B Fig. 268 sind zwei Glasröhren von $^1/_4$—$^3/_4$ Zoll innerem Durchmesser und etwa 2 Fuß Länge; C ist eine metallene Verbindungsröhre mit einem Sperrhahne in der Mitte. D und E sind Gläser, die sich mittelst der Schrauben F, G heben und senken lassen und zur Aufnahme der zu vergleichenden Flüssigkeiten dienen. J, J ist eine wenigstens in 200 gleiche Theile getheilte Scale. Je mehrere Theile die Scale getheilt ist, und je kleinere Theile mittelst Nonien sich ablesen lassen, desto größere Genauigkeit gewährt das Instrument, das folgender Maßen gebraucht wird. Man gießt in jedes der zwei Gläser eine der zwei zu vergleichenden Flüssigkeiten, welche die nämliche Temperatur haben müssen, saugt dann aus den Röhren A, B entweder mittelst des Mundes am geöffneten Sperrhahne (oder nach Alexander, mittelst eines kleinen, auf C anstatt des Sperrhahnes aufgesetzten vertikalen Luftpumpenstiefels) so lange die Luft aus, bis die leichtere der zwei Flüssigkeiten beinahe das obere Ende der betreffenden Röhre erreicht hat, und bewirkt nun mittelst der Schrauben F, G, daß die Flüssigkeitsoberfläche in beiden Gläsern bis an die an den Röhren vorhandenen mit dem Anfangspunkte der Scale zusammenfallenden Marken a, a reicht. Die spezifischen Gewichte der zwei Flüssigkeiten werden sich dann umgekehrt, wie die Höhen der in den Röhren erhobenen Flüssigkeitssäulen verhalten.

9. **Die ärostatische Kaffeemaschine.** A (Fig. 269) ist der cylindrische Körper der Maschine, in welchem sich ein mit dichtem, wohl gereinigtem Flanell überzogener Eisenring B in Gestalt eines niedrigen hohlen Cylinders mit Boden aus Flanell wie ein Kolben auf und ab bewegen läßt. Wird in diesen auf dem Boden von A aufstehenden Cylinder der gebrannte und gepulverte Kaffee gebracht, hierauf siedendes Wasser aufgegossen, dieses bei aufgesetztem Deckel auf A einige Minuten mit dem Kaffee in Berührung gelassen, dann an der Stelle des Deckels die Kurbel H aufgestellt, und durch Aufwickeln des bei a eingehäkelten Bandes b der Cylinder B in die Höhe gezogen, so treibt der Luftdruck das Kaffeeertract schnell und ganz klar durch den Flanellboden dieses Cylinders in den unter demselben entstehenden luftleeren Raum hinab. Daß auf ähnliche Weise der Luftdruck sich zur Beförderung des Seihens und Filtrirens von Flüssigkeiten auch bei vielen anderen Zwecken anwenden lasse, leuchtet von selbst ein.

Fig. 269.



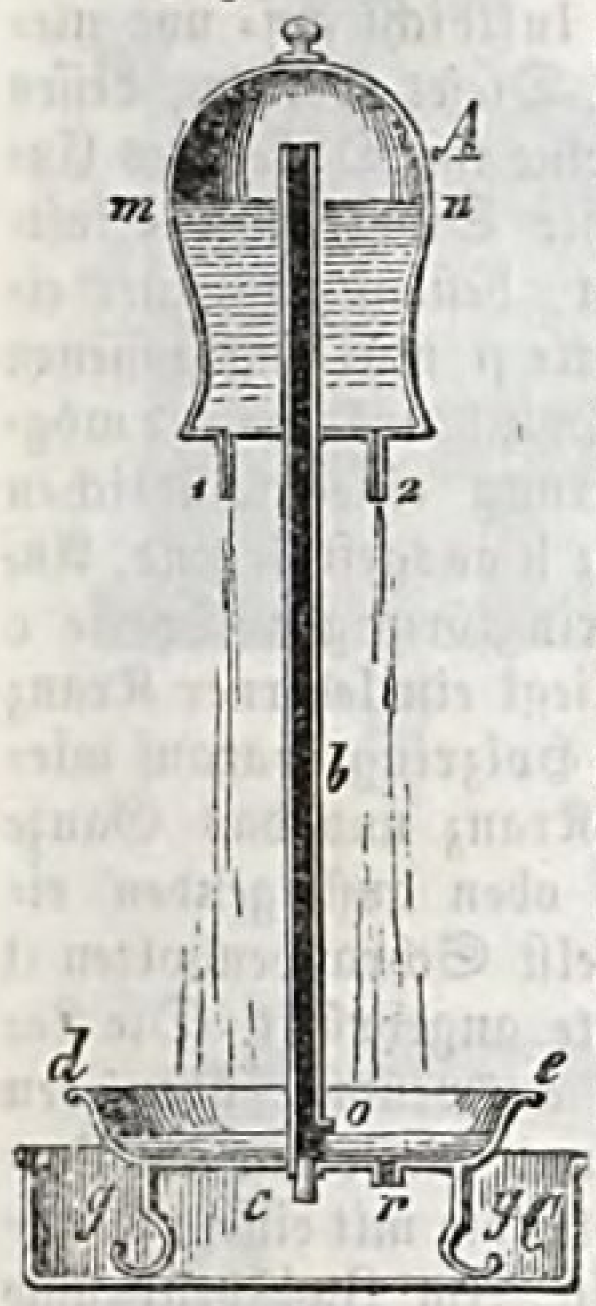
Endlich gehört hierher: Die Wirkung des Zaubertrichters, des intermittirenden Brunnens u. s. w. Wird in den aus zwei in einander steckenden und oben vereinigten Trichtern 1, 2 bestehenden Zaubertrichter (Fig. 270) eine Flüssigkeit gegossen, so füllt sich der Zwischenraum a unter Entweichung der Luft durch die Oeffnung o mit der Flüssigkeit an; verschließt man dann mit dem Daumen die Oeffnung o, so fließt der in A enthaltene Antheil unten bei c ab, in a wird jedoch die Flüssigkeit durch den bei c aufwärts wirkenden Luftdruck erhalten. Der Trichter erscheint somit leer, gibt aber dennoch Flüssigkeit, sobald man nach Heben des Daumens durch die Oeffnung o den Luftdruck auch von oben auf die Flüssigkeit in a einwirken läßt.

Fig. 270.



Der intermittirende Brunnen besteht aus einem Wasserbehältnisse A (Fig. 271), durch dessen mit mehreren Ausflußröhren 1, 2, 3 u. s. w. versehenen Boden eine oben offene Röhre b luftdicht aufsteigt, deren unteres Ende in der Mitte eines mit Füßen g, g versehenen Tellers de befestigt ist und an der Seite einen Ausschnitt o hat. Wird der Apparat umgekehrt, durch die mit einem Pfropfe verschließbare Oeffnung c das Behältniß A etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt, dann die eben erwähnte Oeffnung wieder verpfropft und der Apparat in die aufrechte Stellung der Figur zurückgebracht, so fließt, da der auf das Wasser in A durch die Röhren 1, 2 u. s. w. aufwärts und durch die Oeffnung o und die Röhre b abwärts wirkende Luftdruck im Gleichgewichte stehen, das Wasser in Folge seines Gewichtes bei 1, 2 u. s. w. so lange aus, bis es, in dem Teller de sich ansammelnd, die Seitenöffnung o verschließt und die über mn abgesperrte Luft, indem sie beim Ausfließen des Wassers in einen größeren Raum tritt, so verdünnt ist, daß der bei 1, 2 u. s. w. aufwärts wirkende Luftdruck ihrer Expansivkraft und dem Drucke des in A zurückgebliebenen Wassers das Gleichgewicht zu halten vermag. Hat der Teller de neben der Röhre b, z. B. bei r eine Oeffnung, durch die das in demselben angesammelte Wasser allmälig (etwa in ein untergestelltes Gefäß C) abrinnen kann, so müssen, sobald hiedurch die Seitenöffnung o wieder frei geworden, mithin der äußeren Luft wieder der Zutritt über die Oberfläche mn gestattet ist, die Röhren 1, 2 u. s. w. neuerdings Wasser geben. Da dieses durch die kleine Oeffnung r nicht so schnell abfließen kann, als es aus 1, 2 u. s. w. dem Teller zufließt, so wird dasselbe bald wieder die Seitenöffnung o bedecken, das Fließen des Wassers aus den Röhren 1, 2 u. s. w. muß wieder aufhören und so dauert dieses abwechselnd bis zu gänzlicher Entleerung des Behältnisses A fort.

Fig. 271.



Apparate, deren Wirkung vorzüglich auf der Ausdehnsamkeit der Gase beruht, sind unter vielen andern:

1. Der gemeine Blasbalg (Fig. 272), d. i. ein aus zwei Bretern a, b, die durch Leder c vereinigt sind, bestehendes luftdichtes Behältniß, dessen innerer Raum durch eine Röhre (der sogenannten Düse) d und durch eine nach einwärts sich öffnende Klappe e an einem der Breter mit der äußeren Luft in Communication steht. Beim Auseinanderziehen der Breter erweitert sich der Blasbalg, die Luft darin wird verdünnt, und es dringt durch die Klappe e dichtere äußere Luft ein, welche beim Zusammendrücken des Blasbalges durch die Düse hinausgetrieben wird. Dieser Balg bläst nur während des Zusammendrückens, gibt also keinen ununterbrochenen Luftstrom und schöpft gewöhnlich auch durch die Düse äußere Luft. Von beiden Uebelständen frei ist der zusammengesetzte Blasbalg (Fig. 273), welcher aus drei durch Leder zu zwei luftdichten Behältnissen vereinigten Bretern 1, 2, 3 besteht, wovon das untere und mittlere mit Klappen 4, 5 versehen, das mittlere gewöhnlich fix, das obere und untere aber in Scharnieren bei 6, 7 beweglich sind. Wird das untere Bret 3 von dem mittleren entfernt, so dringt durch die Klappe 5 in das untere Behältniß (den Saugkasten) A von außen her Luft ein, welche beim Heben des Bodens 3 durch die Klappe 4 in den oberen Behälter B getrieben wird und aus diesem bei der Düse d entweicht. Da bei fortgesetztem Auf- und Abbewegen des Bodens 3 dem Raume B aus A in einer und derselben Zeit mehr Luft zugeführt wird, als durch d entweichen kann, so findet eine Verdichtung im Behälter B und dem zu Folge ein ununterbrochener Luftstrom durch d statt, wie er zum Anblasen von Schmiedefeuern u. s. w. erforderlich ist. Dieser Luftstrom wird gewöhnlich durch Belastung des oberen Bretes 1 (z. B. mit einer eisernen Kugel, wie in der Figur) befördert.

Fig. 272.

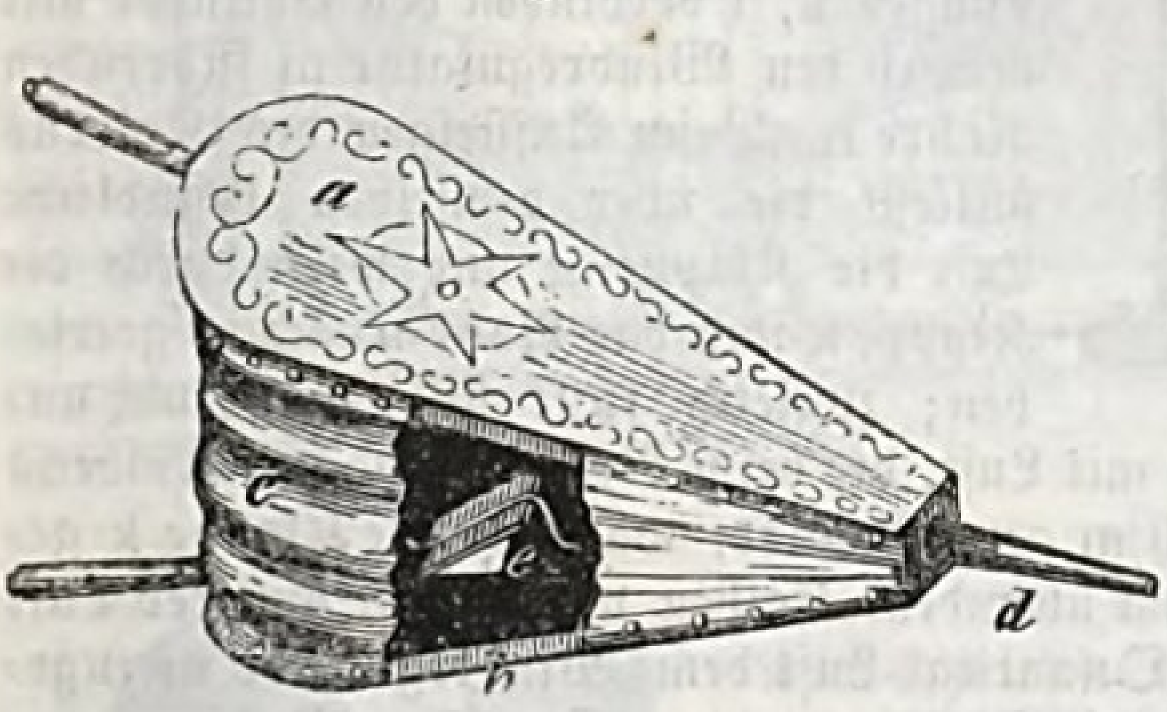
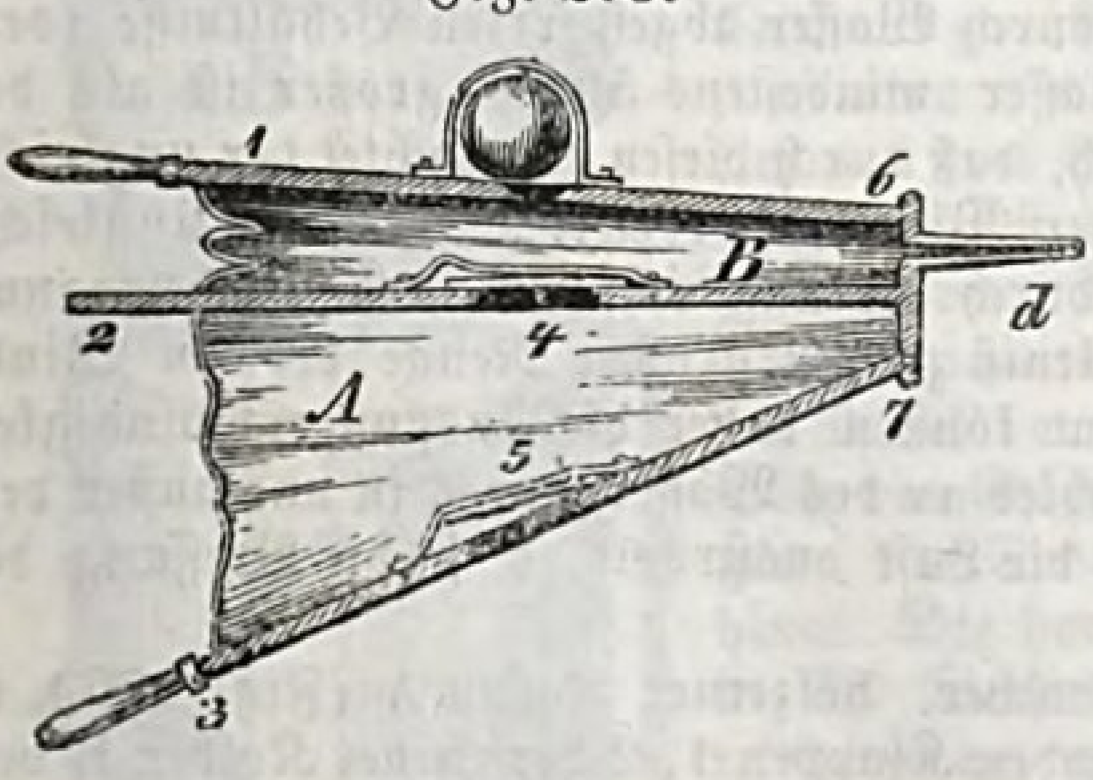


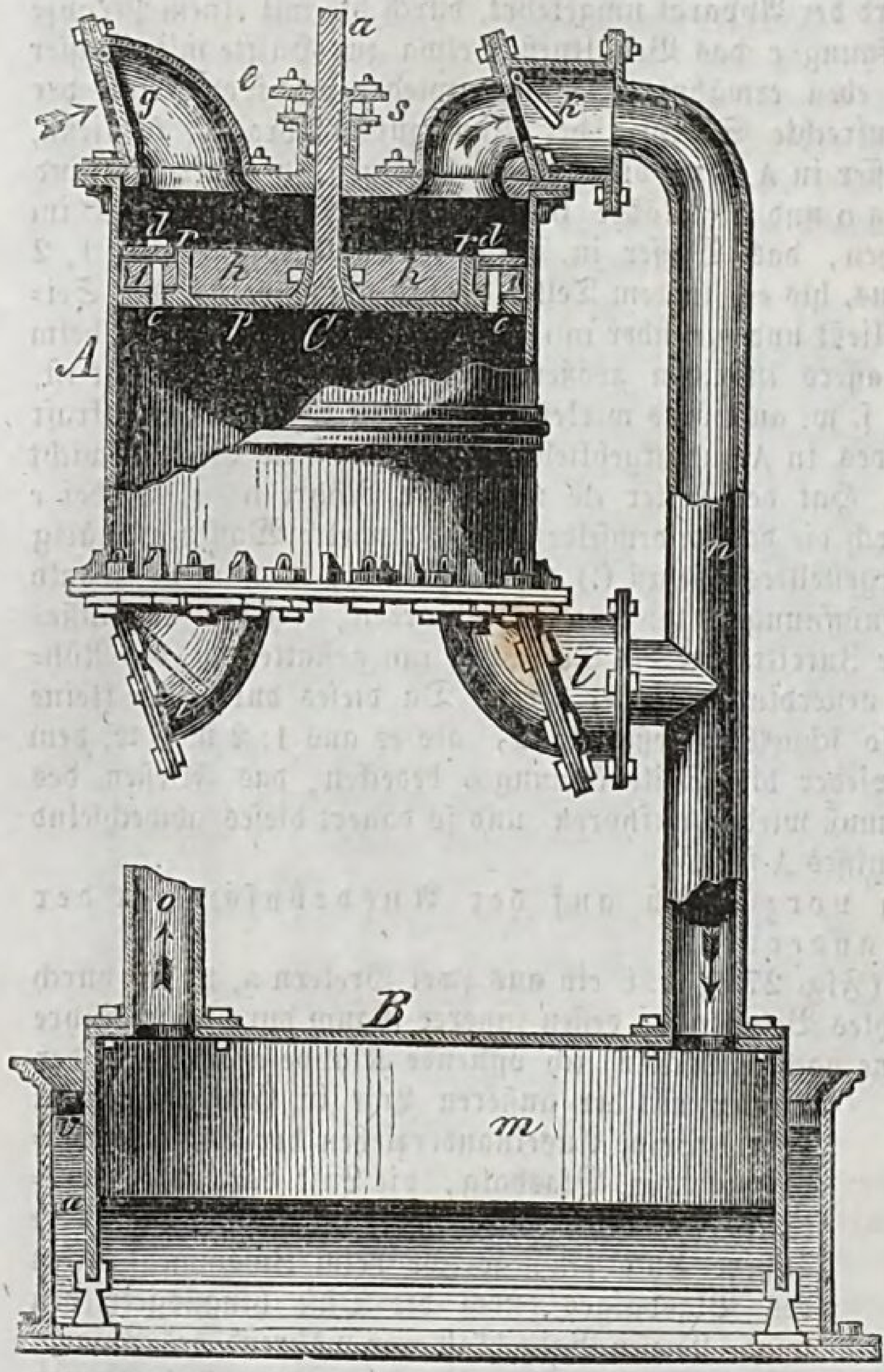
Fig. 273.



2. Die Gebläse. Für größere Feuer, wie in Hoch- und anderen Schmelzöfen, werden anstatt der meistens unzureichenden Blasbälge, sogenannte Gebläse angewendet. Außer

dem schon auf S. 150 beschriebenen Centrifugalgebläse leistet das Cylindergebläse die besten Dienste; man findet aber auch häufig noch Kastengebläse im Gebrauche. Das Cylindergebläse (Fig. 274) ist ein genau gebohrter gußeiserner Cylinder A, in welchem

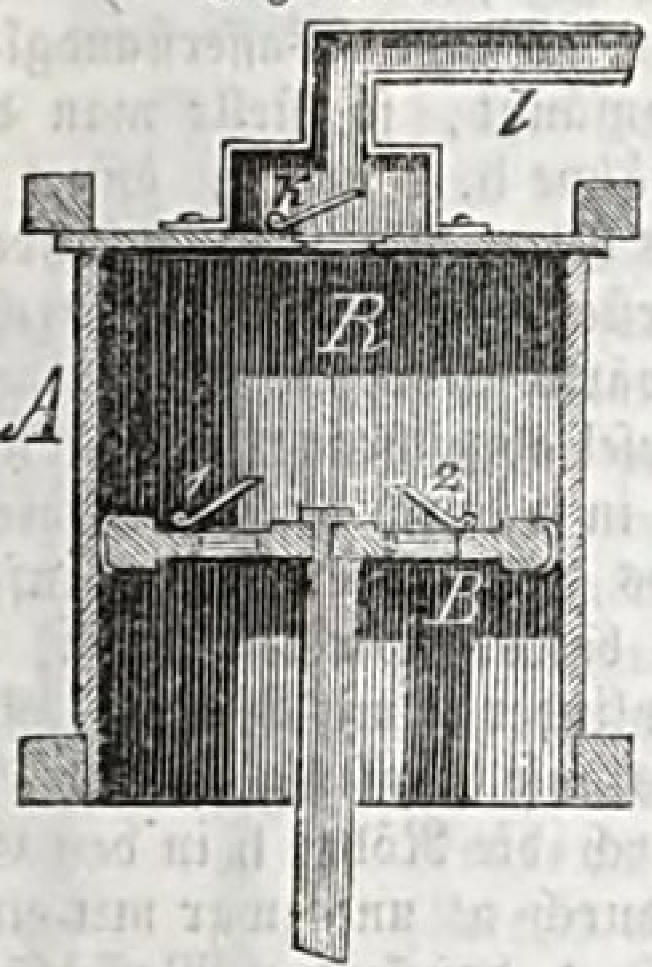
Fig. 274.



sich ein Kolben C luftdicht auf- und niederbewegen läßt. Dieser Kolben, dessen Stange a durch eine im Deckel des Cylinders angebrachte Stopfbüchse s luftdicht hindurchgeht, besteht aus einer eisernen Bodenplatte p mit angegossenen Rippen r, deren Zwischenräume zur möglichsten Verminderung eines schädlichen Raumes mit Holz h ausgefüllt sind. Auf dem äußeren, ringförmigen Theile c der Bodenplatte liegt ein lederner Kranz 1, auf diesem ein Holzring, darauf wieder ein lederner Kranz und das Ganze wird durch einen oben aufliegenden eisernen Ring mittelst Schraubenbolzen d an die Bodenplatte angedrückt. Die Lederkränze ragen auswendig über den Holzring hervor und dieser hat am Umfang eine Hohlkehle, die mit einem Wollstoffe ausgefüllt ist. Im Zwischenraume zwischen der Deckplatte e der Stopfbüchse und der Kolbenstange befindet sich, zum Behufe der Erzeugung eines luftdichten Verschlusses, Werg, das mit Talg und Oel getränkt ist. Durch die Klappe g steht der Raum über, durch die Klappe i der Raum unter dem Kolben mit der äußeren Luft in Verbindung und die ebenfalls mit Klappen versehenen Oeffnungen k, l verbinden den Cylinder mit dem in den Windregulator m führenden Rohre n. Beim Aufsteigen des Kolbens schließt die über demselben befindliche Luft die Klappe g und wird durch die Klappe k und das Rohr n nach m getrieben; zugleich füllt sich der Raum unter dem Kolben durch die Klappe i von außen her mit Luft, die beim Niedergange des Kolbens durch die Klappe l in die Röhre n und von da nach m gepreßt wird, während die Klappe k geschlossen ist, und durch die Klappe g sich der Raum über dem Kolben wieder mit äußerer Luft füllt. Es wird so bei jedem Kolbengange eine neue Quantität Luft dem Windregulator m zugeführt, und aus diesem gelangt die Luft dann durch die Röhre o an den Ort ihrer Bestimmung. Der besagte Regulator, bestehend aus einem unten durch Wasser abgesperrten Behältnisse (dem Windkasten) B, dessen innerer Raum über dem Wasser mindestens 50mal größer ist als der Rauminhalt des Gebläse-Cylinders, macht es möglich, daß durch diesen, ungeachtet der ungleichförmigen Bewegung seines Kolbens ein gleichförmiger Windstrom erzielt werde. Die Ungleichheiten, die in der Dichte der Luft im Windkasten durch die ungleichförmige Kolbenbewegung nothwendig erzeugt werden, sind nämlich im Verhältniß zu der großen Menge der den Windkasten erfüllenden Luft beinahe verschwindend klein und können daher die Ausflußgeschwindigkeit dieser letzteren nicht merklich verändern. Der Unterschied av des Wasserstandes in und außer dem Windkasten bestimmt den Druck, unter welchem die Luft ausströmt, d. i. die Pressung des Windes.

Das Kastengebläse ist ein parallelepipedischer, hölzerner Kasten A (Fig. 275), in welchem ein mit 2 (oder auch 4) einwärts sich öffnenden Klappen 1, 2 versehener Kolben B von Holz auf und ab bewegt wird. Der luftdichte Anschluß dieses Kolbens an die innere Wandfläche des Kastens wird durch mit Leinwand- oder Lederwülsten belegte Leisten erzielt, die in der Richtung gegen den Umfang des Kolbens durch Federn an die glatten, ebenen Kastenwände angedrückt werden. Beim Niedergehen des Kolbens dringt die äußere Luft durch die Klappen 1, 2 in den Kasten und wird beim Emporsteigen des Kolbens durch eine Klappe k in einen kleineren Kasten (Windkasten) und von da durch die Windleitung l dem betreffenden Feuer oder dgl. zugetrieben.

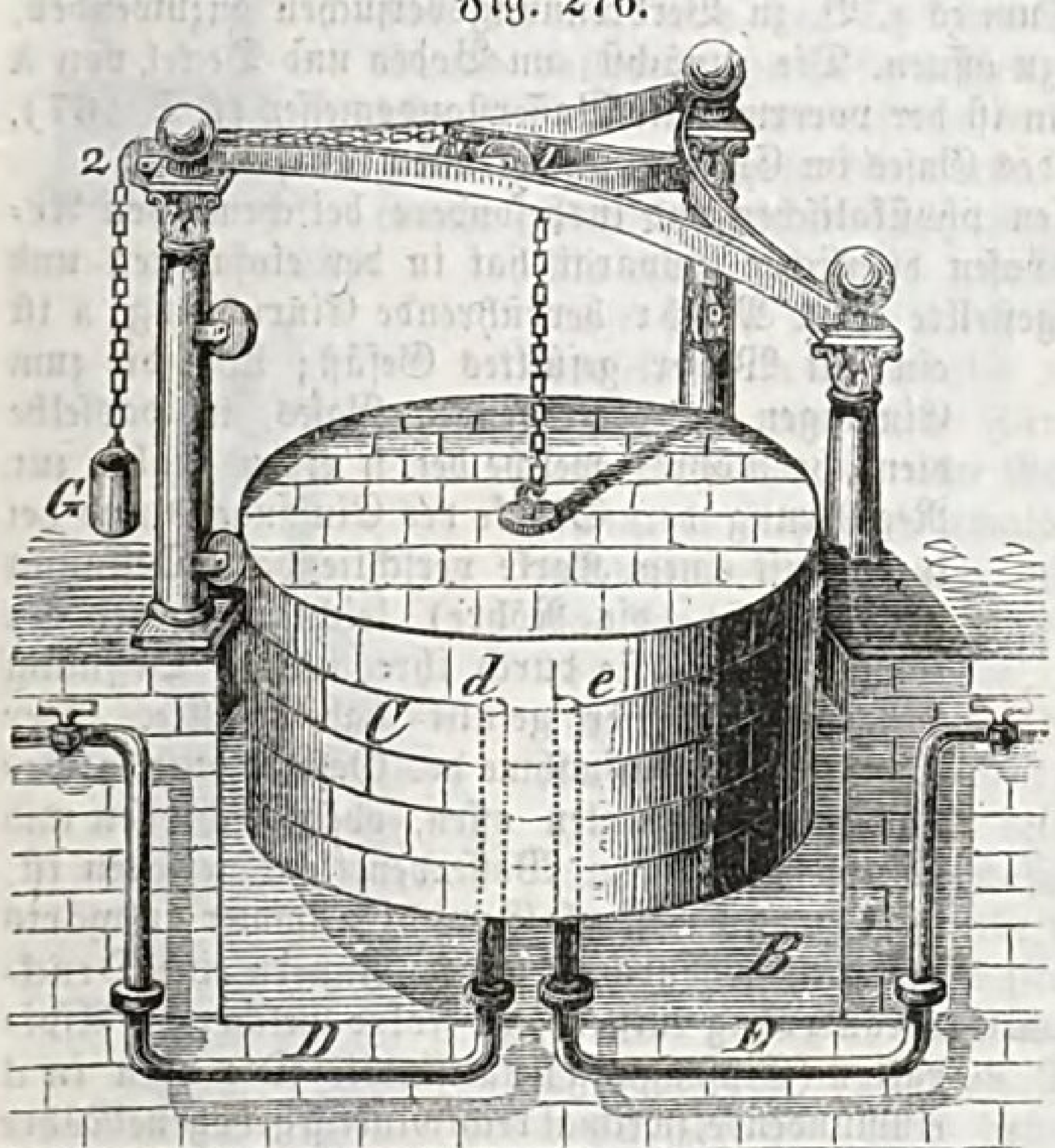
Fig. 275.



Zur Erlangung eines ununterbrochenen Windstromes werden zwei Kastengebläse eben beschriebener Art mit einander vereinigt, so daß die zwei Kolben derselben immer in entgegengesetzter Richtung in Bewegung sind und die geschöpfte Luft abwechselnd in einen gemeinschaftlichen Windkasten oder in einen Regulator pressen.

3. Der Gasometer. So wird (obwohl sehr uneigentlich) ein großes Behältniß genannt, welches in den Leuchtgas-Erzeugungsanstalten dazu dient, das aus Steinkohlen, Harz, Oel oder dgl. nach und nach sich erzeugende und vorläufig gereinigte Leuchtgas anzusammeln und dann durch die nach allen Richtungen hin auslaufenden Gasleitungsröhren den betreffenden Brennern mit der erforderlichen Geschwindigkeit zuzutreiben. Es besteht dieser Gasometer (Fig. 276) in einem aus zusammengenieteten Eisenblechtafeln gebildeten, oben geschlossenen, unten offenen Cylinder C (sein Durchmesser beträgt meistens bis 40 Fuß und darüber, seine Höhe 20 bis 30 Fuß), der an einer Kette hängt, die über

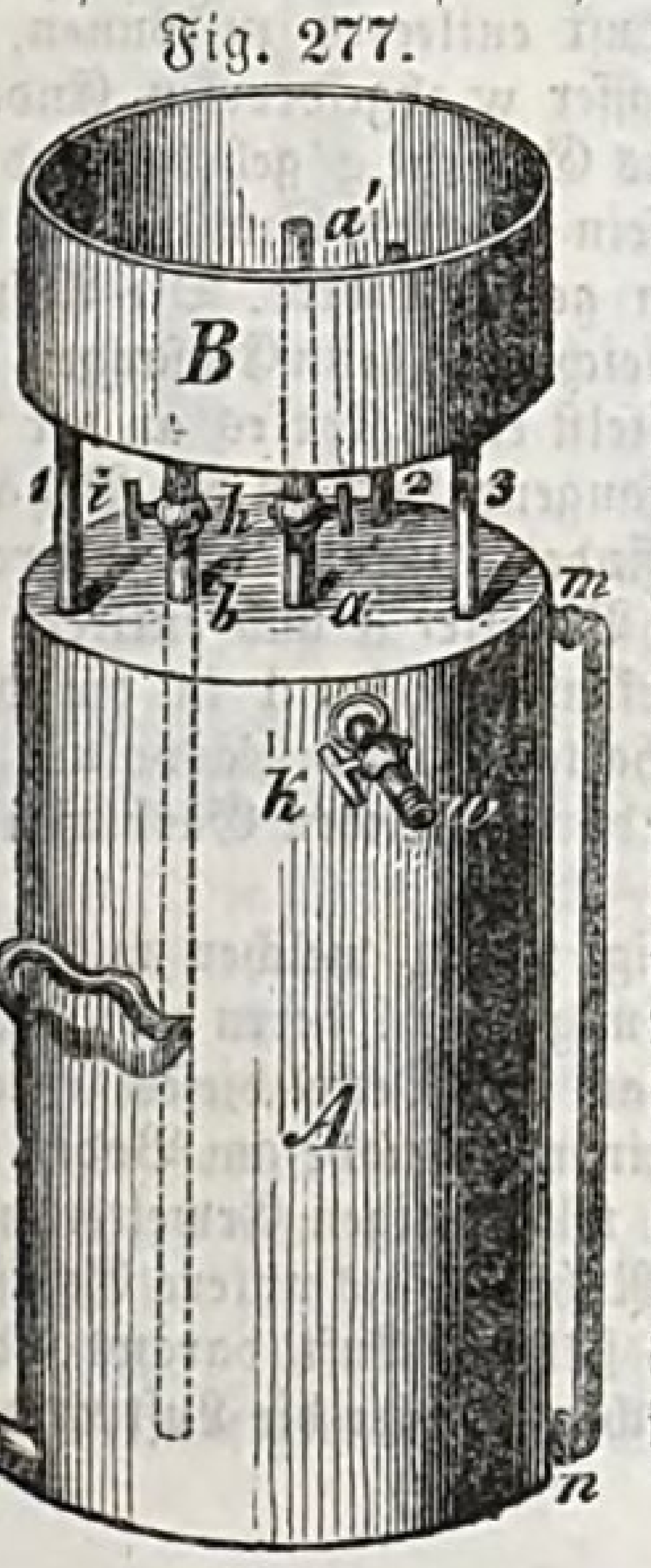
Fig. 276.



Rollen 1, 2 geht und am zweiten Ende ein Gegengewicht G trägt. Der untere offene Theil des Cylinders taucht in einen (gewöhnlich gemauerten und in die Erde versenkten) Wasserbehälter (Bassin) B, in welchen hinein auch zwei Röhren D, E gehen, deren Ausmündungen d, e immer über die Wasseroberfläche des Bassins emporragen, wie tief auch der Cylinder in letzteres eingesenkt ist. Durch die eine dieser Röhren (z. B. durch D) wird der Gasometer aus dem Reinigungsapparat her mit Leuchtgas gefüllt (während dem ist die zweite Röhre (E) vermittelst eines Hahnes oder dgl. abgesperrt) und durch die andere Röhre (E) strömt nach Absperrung von D das Gas in Folge des Druckes, den der Cylinder durch sein Gewicht, welches sich nach Bedürfniß vermittelst des Gegengewichtes G reguliren läßt, auf dasselbe übt, den Orten zu, wo es verbraucht wird.

Ein anderer Apparat, der gleichfalls den Namen Gasometer führt (und zwar mit eben so wenig Recht, wie der vorhergehende, weil auch er nur zum Ansammeln und nicht zum Messen der Gase verwendet wird), ist der in Fig. 277 abgebildete, zu physikalischen und chemischen Versuchen sehr bequeme Pepy'sche Gasbehälter. Er besteht aus zwei Cylindern A, B von Kupfer oder lackirtem Eisenblech; A ist oben und unten geschlossen, und B oben offen. B wird gewöhnlich von drei Stützen 1, 2, 3 getragen, die an dem Deckel von A festgemacht sind, und beide Cylinder können durch zwei Röhren a, b, je nachdem die Hähne h und i gedreht werden, in oder außer Communication gesetzt werden. Die Röhre a geht gerade nur durch den Deckel von A und ihr oberes Ende a' reicht etwa bis zu $^2/_3$ der Höhe des Cylinders B über dessen Boden empor. Die Röhre b beginnt am Boden von B und geht bis beinahe an den Boden von A hinab. Die horizontale, mit einem Hahne k versehene Röhre mündet in der Seitenwand des Cylinders A ein, und das Schraubengewinde w am vorderen Ende dient, um Ausströmungs- oder andere Röhren anschrauben zu können. c ist eine etwas weitere, mit einem Schraubenstöpsel verschließbare Röhre, die gegen die Seitenwand von A einen spitzigen Winkel bildet. Um nun in den Apparat irgend ein Gas einzufüllen, füllt man zuerst den Cylinder A ganz mit Wasser an. Zu diesem Behufe wird die Röhre c geschlossen, die Hähne i, h und k werden geöffnet und in den Cylinder B wird Wasser einge-

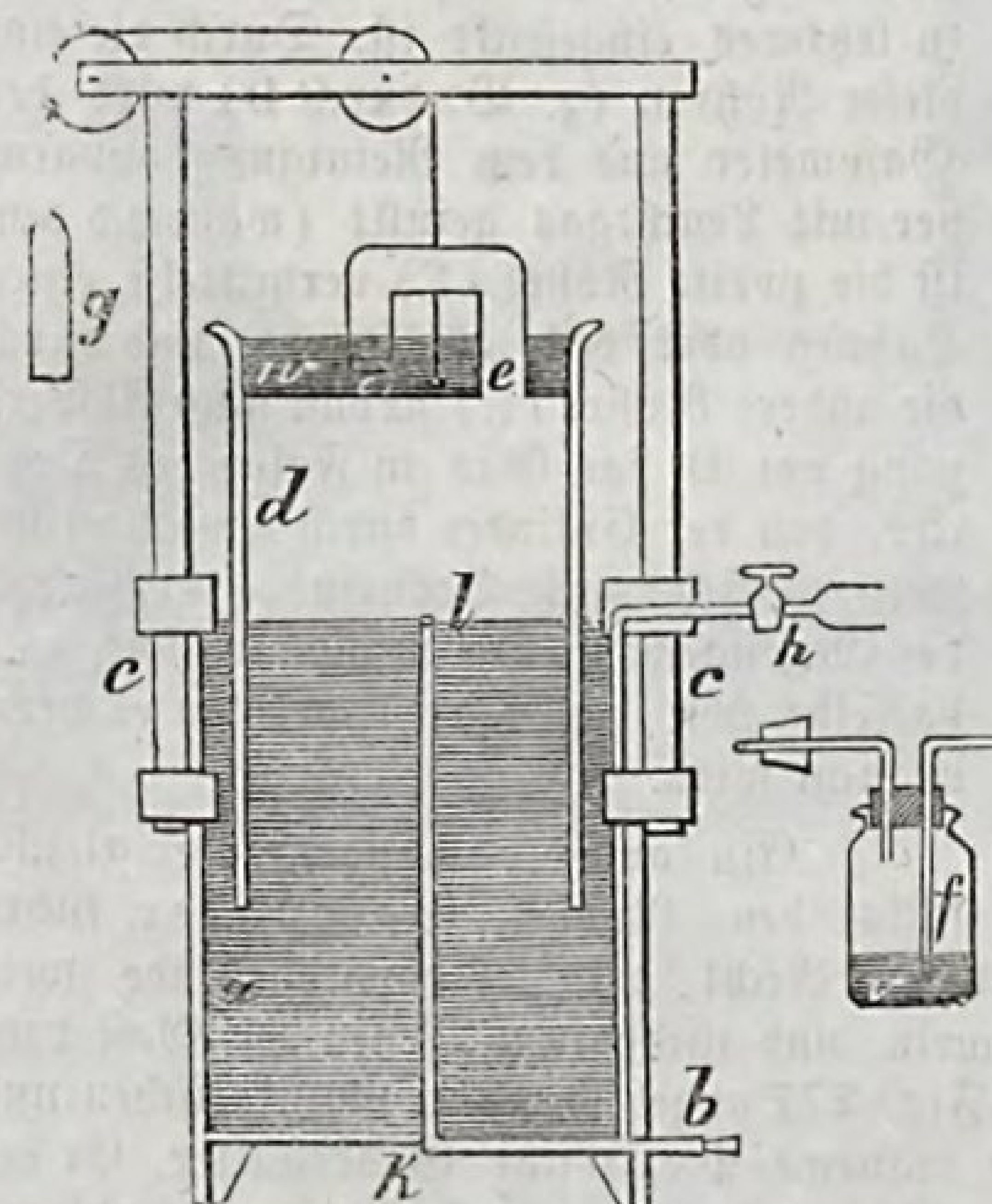
Fig. 277.



gossen. Während dieses durch die Röhre b in den Cylinder A dringt, entweicht die Luft aus diesem bei a' und w. Ist A ganz mit Wasser angefüllt, was man an dem Wasserstandglase mn oder daran ersieht, daß das Wasser bei w auszufließen anfängt, so stellt man den Apparat bis über die Röhre c unter Wasser, schließt sämmtliche Hähne h, i und k, öffnet die Röhre c unter Wasser und führt durch sie ein dem Apparat das betreffende Gas zuführendes Rohr ein. In dem Maße als Gas aus diesem Rohre in A emporsteigt, fließt Wasser durch c um das Zuleitungsrohr herum ab. Da die Röhre c äußerlich aufwärts gebogen ist, so kann, wenn nach erfolgter Anfüllung des Cylinders A mit Wasser ihr Stöpsel abgeschraubt wird, durch sie keine atmosphärische Luft nach A dringen, und das Wasser wird in A durch den Druck dieser Luft zurückgehalten. Hat der Gasometer die entsprechende Menge des betreffenden Gases aufgenommen (wo dann c wieder geschlossen wird), und man will dasselbe bei a' austreten lassen, um z. B. eine Flasche oder Glocke damit anzufüllen, so füllt man den Cylinder B mit Wasser, öffnet die Hähne h, i und bringt den Hals oder die Mündung der ebenfalls mit Wasser gefüllten Flasche oder Glocke über die Mündung a'. Indem aus B das Wasser durch die Röhre b in den Cylinder A dringt, wird eine entsprechende Menge Gas aus diesem durch a' und zwar mit einer Kraft ausgetrieben, welche von der Höhe der auf die Oberfläche in A drückenden Wassersäule abhängt. Soll das Gas bei w austreten, um es z. B. zu Verbrennungsversuchen anzuwenden, so ist anstatt des Hahnes h der Hahn k zu öffnen. Die zunächst am Boden und Deckel von A einmündende und eingekittete Glasröhre mn ist der vorerwähnte Wasserstandsmesser (s. S. 167), der zugleich auch den jedesmaligen Stand des Gases im Cylinder A erkennen läßt.

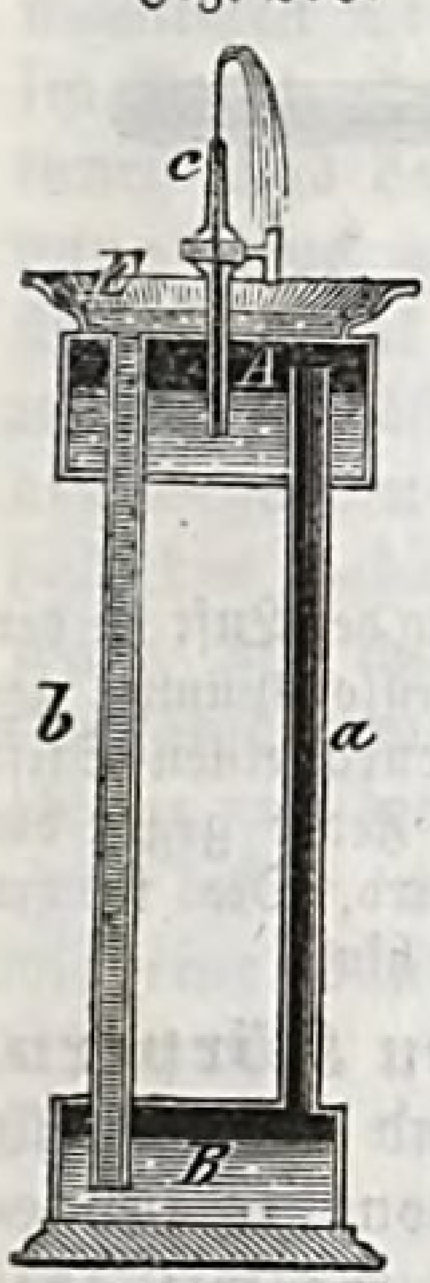
4. Der Aspirator, ein bei vielen physikalischen und insbesondere bei chemischen Arbeiten sehr nützlicher, zum Einsaugen von Gasen dienlicher Apparat hat in der einfachsten und bequemsten Gestalt die durch Fig. 278 dargestellte, von Mohr herrührende Einrichtung. a ist ein mit Wasser gefülltes Gefäß; hbkl die zum Einsaugen des betreffenden Gases in dasselbe dienliche Röhre, welche bei h einen Hahn zur Regulirung der Stärke des Einsaugens und bei b eine mit einem Korke verschließbare Oeffnung hat, um sie (die Röhre) leicht entleeren zu können, wenn sie durch ihre innere Oeffnung l sich mit Wasser gefüllt haben sollte. Der eigentlich zur Aufnahme des Gases dienende Behälter d, der unten offen, oben geschlossen und daselbst mit einem Wasserventile e versehen ist, wird durch das starke Gewicht g immer aufwärts gezogen, wodurch in seinem Innern eine Druckveränderung entsteht, zu Folge welcher die Aspiration (Einsaugung) stattfindet. Die oben in d einmündende, zweimal rechtwinklig gebogene Röhre e_1 ist 2" weit, um das Gefäß d schnell von der darin enthaltenen Luft entleeren zu können, die bei dem nur mit Wasser w abgesperrten Ende e_1 entweicht, wenn das Gewicht g gehoben und der Behälter d durch sein eigenes Gewicht im Behälter a herabsinken gemacht wird. Die Absperrung der Röhre ee_1 mit dem auf d befindlichen Wasser verhindert zugleich, daß beim Einsaugen hier keine atmosphärische Luft ins Innere von d gelangen kann. Die mittelst eines Korkes an der Erweiterung vor dem Hahne festgesteckte kleine Flasche f läßt die einzusaugende Luft in den Behälter d hinein, aber so lange sie sich darin unter schwachem Drucke befindet, nichts davon heraus. Hebt man das Gewicht, so sinkt, wie schon oben gesagt wurde, der Behälter d und entleert sich durch e_1 von dem in ihm enthaltenen Gas; läßt man g wieder wirken, so steigt d in die Höhe und saugt durch die Flasche f und die Röhre hbkl ein seinem Inhalte gleiches Gasvolum ein. In der Flasche f sieht man an der Stärke der durch das Wasser v durchgehenden Gasblasen die Stärke des Gasstromes, den man mittelst des Hahnes h regulirt.

Fig. 278.



5. Der Heronsbrunnen, d. i. ein Heronsball A (Fig. 279), welcher mit einem andern luftdichten Gefäße B durch zwei Röhren a und b in Verbindung steht, deren eine a vom Deckel des Gefäßes B durch den Boden des Gefäßes A bis nahe an den Deckel dieses letzteren reicht, während die andere b durch den ganzen Heronsball geht, einerseits nahe am Boden von B endigt und andererseits in einer über dem Gefäße A befindlichen tellerartigen Erweiterung E ausmündet. Befindet sich in dieser Wasser, so fließt es durch die Röhre b ins untere Gefäß B, vertreibt die unter dem hydrostatischen Drucke der Wassersäule in b stehende Luft daraus, diese gelangt durch die Röhre a über das Wasser im Heronsballe, dadurch wird hier die Luft verdich-

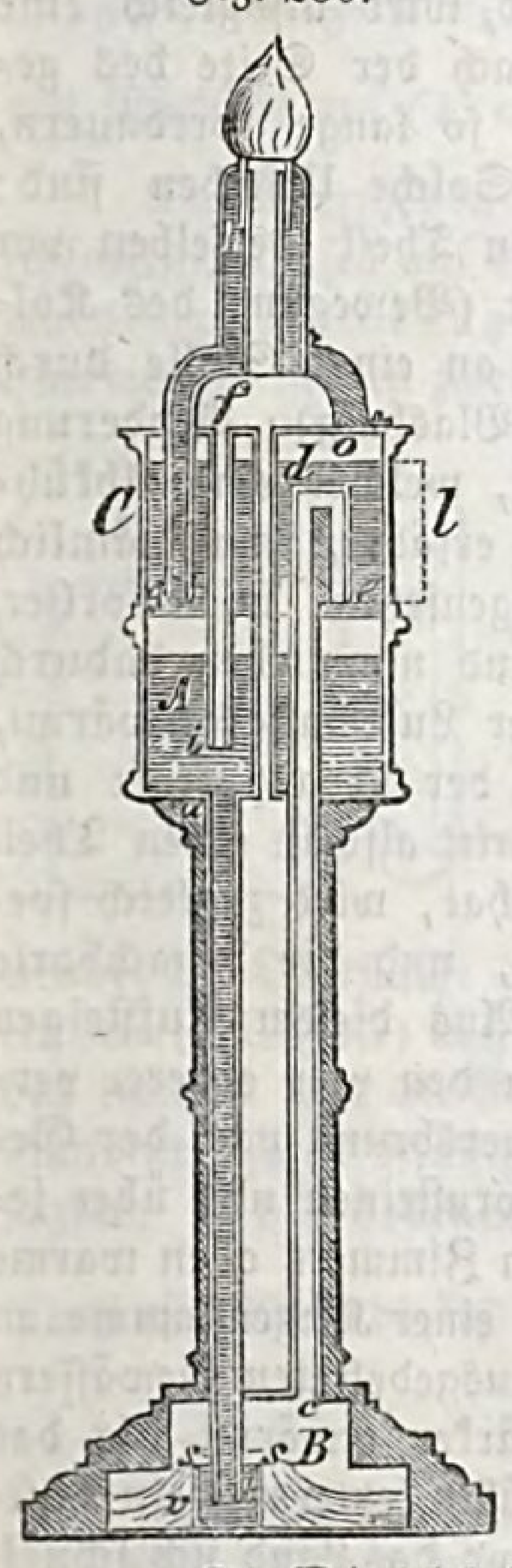
Fig. 279.



tet und mithin das Wasser bei c hervorspringen gemacht. Dieses sammelt sich wieder im Teller E, fließt von da fortwährend dem unteren Gefäße zu, und so dauert das Springen des Heronsbrunnens so lange fort, als der Heronsball noch Wasser und das Gefäß B noch Luft enthält. Die Höhe, zu welcher das Wasser aus c emporspringt, hängt natürlich von der Höhe der die Luft in A zusammendrückenden Wassersäule in b über der Wasseroberfläche in B ab.

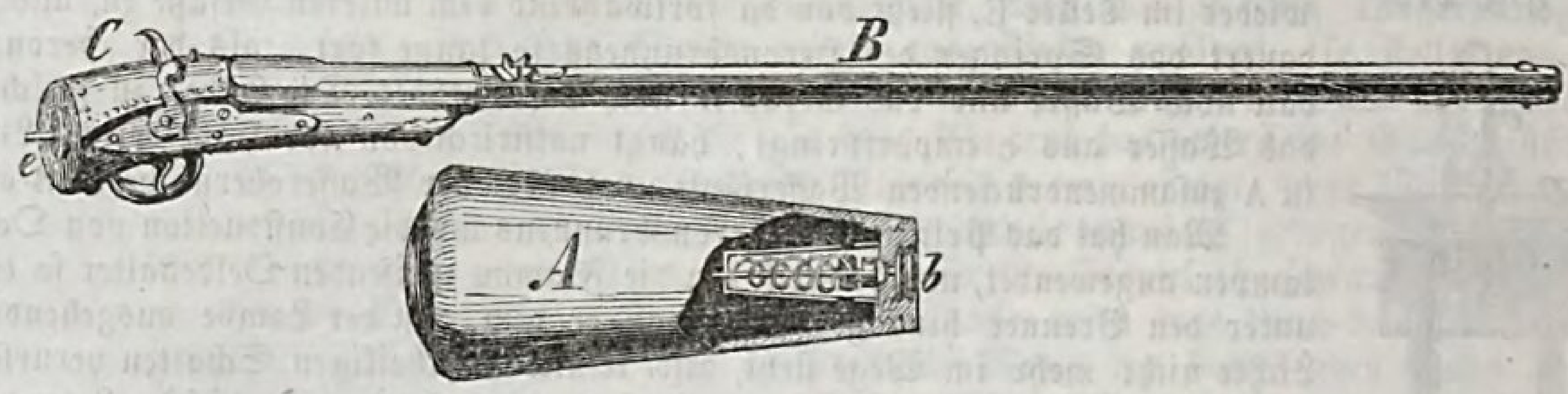
Man hat das Prinzip des Heronsbrunnens auf die Construction von Oellampen angewendet, und dadurch den die Flamme speisenden Oelbehälter so tief unter den Brenner hinabgebracht, daß er dem von der Lampe ausgehenden Lichte nicht mehr im Wege steht, also keinen nachtheiligen Schatten verursachen kann. Solcher Art ist Girard's sogenannte hydrostatische Lampe, von welcher hier eine Durchschnittszeichnung (Fig. 280) sammt gedrängter Beschreibung folgt. A ist das Behältniß, welches die drückende Oelsäule im Rohre ab liefert; das Gefäß B enthält die Luft, welche den Druck der Oelsäule in ab durch die Röhre cde in den Oelbehälter C und zwar zunächst auf dessen Luftgehalt in o überträgt. So lange also von ab ein Druck ausgeht, wird auch die Luft in o das Oel des Behälters C im Rohre gh auf eine diesem Drucke entsprechende Höhe steigen machen. Damit dieses Steigen immer gerade bis zum Brenner erfolge und das Oel in der Dochtröhre h stets bei gehörigem Stande erhalten werde, muß der besagte Druck eine bestimmte, sich immer gleichbleibende Größe haben, mithin die drückende Oelsäule in ab stets die nämliche Höhe behalten. Es muß daher dafür gesorgt sein, daß diese Höhe weder durch Steigen des Oeles in B, noch durch Sinken desselben im Behältnisse A (während des Brennens der Lampe) verändert werden kann. Für die kurze Brenndauer eines Abends wird ersteres durch das enge Gefäß v verhindert, welches die untere Mündung der Röhre ab umgibt und sich nach wenigen Augenblicken bis an den oberen Rand ss mit dem aus A abfließenden Oele füllt, so daß dann alles aus A noch nachkommende Oel über den Rand ss in den Behälter B abfließt, und dieser Rand von nun an unveränderlich den Anfangspunkt (die Basis) der Oelsäule in ab bildet. Die Veränderung der Länge der Oelsäule ab durch Sinken des Oeles in A wird aber durch die beiderseits offene Röhre fi verhütet, welche in Bezug auf die Ausflußöffnung a im Boden von A gerade so wirkt, wie die Röhre bo bei der vorn beschriebenen Mariotte'schen Flasche (Fig. 263) bezüglich der unter der Mündung o angebrachten Seitenöffnung a, nämlich macht, daß das Oel durch die Mündung a unter der constanten Druckhöhe ai abfließt, der oberste Punkt der auf die Luft in B drückenden Oelsäule also stets mit dem Ende i der Röhre if zusammenfällt und alles über i befindliche Oel blos als Vorrath zum Speisen der besagten Oelsäule zu betrachten ist. Bei der Höhe, welche man den Lampen gewöhnlich gibt, würde der Druck der Oelsäule von der Höhe is (auf die Luft in o übertragen) das Oel aus dem Behältnisse C durch die Röhre g zu einer Höhe emportreiben, die einen Brenner h von bedeutender Länge voraussetzt. Um nun eine übermäßige Länge des Brenners zu vermeiden, ist die Röhre cde heberförmig umgebogen, was zur Folge hat, daß das Oel in gh gerade um so viel (nämlich um l) weniger steigt, als e unter dem Flüssigkeitsspiegel in C liegt. Die Druckkraft hat dann zuerst eine Oelsäule von der Höhe l zu gewältigen, und nur mit dem Ueberschusse wird das Oel in gh emporgetrieben; es wird also gerade so sein, als ob die Hebung in gh nicht vom Spiegel des Oels in C, sondern von e an wirkte.

Fig. 280.



6. Die Windbüchse besteht aus einem starken, luftdichten Gefäße A (Fig. 281) von Schmiedeisen oder Kupfer, Flasche genannt, welches mit einer von innen nach außen sich schließenden Klappe a und vor dieser mit einem Schraubengewinde b versehen ist, worin ein mit einem entsprechenden Schlosse C versehener Flintenlauf B festgeschraubt ist. Enthält die Flasche stark comprimirte Luft und der Lauf zunächst am Schlosse eine Kugel, und es wird durch einen Stoß vom Laufe her die Klappe a geöffnet, so daß diese eine kleine Portion verdichteter Luft aus der Flasche heraus und hinter die Kugel gelangen läßt, sich hierauf aber sogleich wieder schließt, so vertritt diese verdichtete Luft die Stelle des durch Verbrennen des Schießpulvers in einem gewöhnlichen Feuergewehr entwickelten Gases und treibt die Kugel mit einer dem

Fig. 281.



Verdichtungsgrade entsprechenden Kraft aus dem Laufe hinaus. Die Verdichtung der Luft in der Flasche geschieht mittelst einer bei b anstatt des Laufes angeschraubten Compressionspumpe gewöhnlich bis auf das 100—150fache und das Aufstoßen der Klappe a wird durch einen Stift c bewirkt, den eine starke, beim Aufziehen des Schloßhahnes sich spannende Feder gegen die Klappe treibt, sobald sie durch Losdrücken des Hahnes in Freiheit gesetzt wird. Die in der Flasche enthaltene verdichtete Luft reicht für eine größere Anzahl von Schüssen hin.

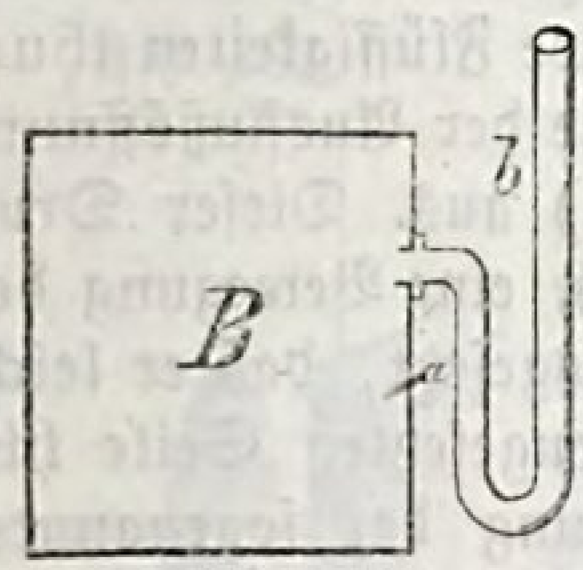
143. Bedingung der Bewegung in gasförmigen Körpern. So lange in einer Luftmasse der Druck, den die Theilchen an irgend einer Stelle auf ihre Umgebung üben, dem Gegendrucke gleich ist, den sie von der Umgebung erfahren, herrscht in der Luftmasse Ruhe (Gleichgewicht). So wie aber diese Gleichheit des Druckes und Gegendruckes gestört wird, wird alsogleich eine Bewegung der Lufttheilchen von der Seite des stärkeren nach der Seite des geringeren Druckes hin eintreten, und die Bewegung muß so lange fortdauern, als die Ursache der Störung des Gleichgewichtes wirkt. Solche Ursachen sind: die Bewegung eines Körpers in der Luftmasse, der einen Theil derselben vor sich hertreibt und hinter sich einen leeren Raum zurückläßt (Bewegung des Kolbens in einem Gebläse u. s. w.); Verdünnen der Luft an einer Stelle durch Saugen u. s. w.; Zusammendrücken derselben (z. B. im Blasbalg); Aenderung der Temperatur einzelner Theile der Luftmasse. Der Theil, welcher eine Abkühlung und dadurch eine Verminderung seiner Expansivkraft erfährt, kann nämlich der umgebenden Luft keinen so starken Druck mehr entgegensetzen, wie vorher, diese drückt ihn daher in ein kleineres Volum zusammen und nimmt den dadurch frei gewordenen Raum ein. Wird hingegen ein Theil der Luftmasse erwärmt, so nimmt er, in Folge der dadurch bewirkten Vergrößerung der Expansivkraft und des Druckes gegen die Umgebung, ein größeres Volum ein, tritt also in einen Theil des Raumes, den vorher die umgebende Luft eingenommen hat, wird zugleich spezifisch leichter als diese, steigt demnach darin in die Höhe, und die benachbarte Luft muß in den von ihm verlassenen Raum einströmen. Aus diesem Aufsteigen wärmerer Luft in kälterer und dem Zuströmen der letzteren in den von ersterer verlassenen Raum erklärt sich: der Luftstrom, der bei jeder Feuersbrunst nach der Gegend des Feuers hin bemerkt wird; der Luftzug in den Schornsteinen und über jedem Feuer; warum durch die geöffnete Thüre eines geheizten Zimmers oben warme Luft hinaus und unten kalte hereinströmt (wie die Richtung einer Kerzenflamme an diesen Stellen zeigt); warum in am Meere oder anderen ausgedehnten Gewässern gelegenen Orten bei Tage (wo die Sonne das feste Land stärker erwärmt als das Wasser, mithin auch die Luft über ersterem wärmer ist als über letzterem) ein Luftstrom vom Wasser nach dem Lande, zur Nachtzeit hingegen (wo das Land sich schneller abkühlt als das Wasser, die Luft daher über letzterem wärmer ist als über erstem) eine Luftströmung in umgekehrter Richtung stattfindet. — Wir werden auf diese und noch mehrere andere aus derselben Quelle fließende Erscheinungen in der Wärmelehre zurückkommen.

144. Ausfluß gasförmiger Körper aus Behältern. Der Ausfluß der Gase aus Behältern beobachtet in mancher Beziehung ganz die Gesetze, wornach tropfbare Flüssigkeiten ausfließen, und welche wir bereits in **109** u. s. w.

kennen gelernt haben. Befindet sich das in einem Behälter enthaltene Gas unter dem nämlichen Druck, wie die Luft außerhalb des Behälters, so kann z. B. durch eine im Boden oder in einer Seitenwand des Behälters angebrachte Oeffnung weder von innen Gas heraus, noch von außen Luft in den Behälter hinein, weil an der Oeffnung Druck und Gegendruck gleich sind, mithin Gleichgewicht herrschen muß. Besitzt aber das innere Gas eine größere Expansivkraft als das äußere, so daß an der Ausflußöffnung der Druck von innen um die Größe x größer ist als der Gegendruck von außen her, so verhält sich die Sache gerade so, als ob außerhalb des Behälters gar keine Luft, im Behälter aber Gas vom Drucke x vorhanden wäre, und man kann diesen Druck so ansehen, als würde er durch das Gewicht einer Gassäule verursacht, welche eine entsprechende Höhe H, in dieser ganzen Höhe eine gleiche und die nämliche Dichte und Expansivkraft, wie die äußere Luft an der Oeffnung besitzt, und welche daher, wenn diese Dichte mit D bezeichnet wird, gerade wie eine Säule einer tropfbaren Flüssigkeit auf die Flächeneinheit den Druck $HD = x$ . . . (1 übt. Da nun die Geschwindigkeit c, womit eine tropfbare Flüssigkeit aus einer Oeffnung ausfließt, nach **109** und **110** durch die Gleichung $c = \sqrt{2gh}$ gefunden wird, worin h die Höhe der über (dem Mittelpunkte) der Ausflußöffnung stehenden Flüssigkeitssäule bedeutet; so hat man auch für die Ausflußgeschwindigkeit c_1 des Gases aus dem Behälter die Gleichung $c_1 = \sqrt{2gH}$ oder, mit Rücksicht auf (1, $c_1 = \sqrt{2g\frac{x}{D}}$ . . . (2.

Der Werth von x, d. i. das Uebergewicht des Druckes des im Behälter eingeschlossenen Gases auf die Flächeneinheit über den Druck der äußeren Luft wird mittelst eines sogenannten Manometers bestimmt, welches Instrument (Fig. 282) in einer hinreichend langen zweischenklichen, beiderseits offenen und graduirten Barometerröhre

Fig. 282.



besteht, deren kürzerer, meistens horizontal umgebogener Schenkel a mit dem das Gas einschließenden Behälter B communicirt, und welche bis nahe an die obere Biegung von a Wasser oder, gewöhnlicher, Quecksilber enthält. Hat das Gas im Behälter B eine gleiche Expansivkraft wie die Luft außerhalb desselben, so steht die Flüssigkeit in beiden Schenkeln des Manometers gleich hoch. Ist aber die Spannkraft des inneren Gases größer als die des äußeren, so steht die Flüssigkeit im Schenkel b höher als im Schenkel a, und der Druck, den die in b über die Oberfläche der Flüssigkeit in a gehobene Flüssigkeitssäule auf die Flächeneinheit (1 □Zoll) übt, ist (**125**) das Maß des Uebergewichtes x der Expansivkraft des inneren über die Expansivkraft des äußeren Gases, so daß, wenn d die Dichte der manometrischen Flüssigkeit (des Wassers oder Quecksilbers) und k die Höhe der besagten, in b erhobenen Säule bedeutet, man $x = kd$ hat; mithin zu Folge (2 die Ausflußgeschwindigkeit $c_1 = \sqrt{2gk\frac{d}{D}}$ ist *).

---

*) Um mittelst obigen Manometers nicht das Uebergewicht der Expansivkraft des inneren über jene des äußeren Gases, sondern die Expansivkraft des ersteren an und für sich zu erhalten, ist der Druck der in b gehobenen Flüssigkeitssäule noch um den Druck zu vermehren, welchen das äußere Gas auf die Flächeneinheit übt. — Zum Messen höherer Expansivkräfte der Gase (solcher Expansivkräfte nämlich, welchen die ganze Flüssigkeitssäule des eben besprochenen, selbst mit sehr langen Schenkeln versehenen Manometers und der durch den Schenkel b auf sie wirkende äußere Druck nicht mehr das Gleichgewicht zu halten vermögen) eignet sich recht gut das schon bei der Luftpumpe (S. 263) beschriebene und in Fig. 244 anschaulich gemachte Verdichtungs-Manometer. Befindet sich nämlich, während die Quecksilberoberflächen m, n gleich hoch stehen und der Barometerstand h ist,

Bedeutet A den in □ Fuß ausgedrückten Querschnitt der Ausflußöffnung, so wäre, vorausgesetzt, daß k constant bleibt, die in der Sekunde ausfließende Luftmenge $M = A . \sqrt{2g . \frac{kd}{D}}$ ... (3, wenn nicht eben so wie bei tropfbaren Flüssigkeiten auch bei Gasen eine Contraction des ausfließenden Stromes stattfände. Dieser Contraction wegen ist die wirklich ausfließende Luftmenge aber immer kleiner als die nach (3 berechnete (theoretische) und diese ist, um in erstere verwandelt zu werden, mit einem passenden Contractions-Coefficienten n zu multipliziren, so daß man für die in der Sekunde durch eine Oeffnung vom Querschnitt A wirklich ausfließende Anzahl M_1 Kubikfuße eines Gases die Gleichung $M_1 = nA \sqrt{2g \frac{kd}{D}}$ hat. Den neuesten Versuchen zu Folge beträgt dieser Coefficient n für Ausflußöffnungen in dünnen Wänden 0·65; beim Ausfluß durch cylindrische Ansatzröhren 0·93 und durch nicht stark konische Ansatzröhren 0·94.

145. Die Bewegung der Gase in Röhrenleitungen stimmt sehr nahe mit jener tropfbarer Flüssigkeiten überein. So wie diese, erfahren auch die Gase durch Adhäsion an den Röhrenwänden einen Widerstand, der (mit der Länge und dem innern Umfange der Röhre, so wie mit dem Quadrate der Geschwindigkeit des Gases in directem und mit dem Querschnitte der Röhre in umgekehrtem Verhältnisse steht und) die Geschwindigkeit des strömenden Gases vermindert. Die am Ende der Röhrenleitung ausströmenden Gasmengen sind unter sonst gleichen Umständen dem Drucke, unter welchem das Gas im Behälter sich befindet, direkt und der Quadratwurzel aus der Länge der Leitungsröhren umgekehrt proportional und verschieden groß, je nachdem das Ausströmen durch ein verengtes Ansatzrohr (Düse) oder durch die frei auslaufende Röhrenleitung geschieht.

146. Reaction ausströmender Gase. Während ein Gas aus einem Gefäße ausströmt, übt es, so wie dies (nach S. 171) tropfbare Flüssigkeiten thun, und aus dem nämlichen Grunde, wie diese Flüssigkeiten, auf die der Ausflußöffnung gegenüberstehende Wand einen Druck (Rückwirkung, Reaction) aus. Dieser Druck erzeugt, so wie die Reaction tropfbarer Flüssigkeiten (S. 171), eine Bewegung des Behälters, aus welchem die Ausströmung Statt findet (vorausgesetzt, daß er leicht genug beweglich ist), nach einer der Ausflußrichtung entgegengesetzten Seite hin. Hieraus erklärt sich: das Steigen der Raketen; die Bewegung der sogenannten Schwärmer und Feuerräder; das Stoßen der Schießgewehre; das Zurücklaufen der Kanonen beim Abfeuern u. s. w.

Eine Rakete, — d. i. eine cylindrische Hülse aus starkem Papier, welche mit einem Satz von Pulver und Kohle gefüllt und an einen dünnen Holzstab, Ruthe genannt, befestigt ist, — wird dadurch steigen gemacht, daß man sie, mit der Ruthe nach abwärts gekehrt, an einem in die Erde eingeschlagenen Pfahl vertikal aufhängt und den Satz am untern Ende der

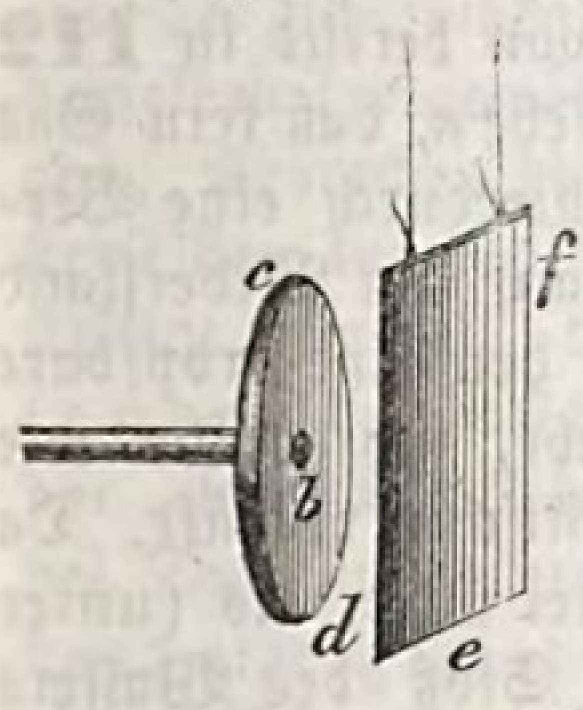
---

in dem abgeschlossenen Raume ma trockene atmosphärische Luft, so daß b eine dem Drucke p, unter welchem sich diese Luft befindet, proportionale Größe darstellt, man bringt dann das Ende d mit dem Behälter in Communication, der das Gas enthält, dessen Expansivkraft gemessen werden soll, und angenommen, es werde durch diese Expansivkraft die früher im Raume ma enthalten gewesene atmosphärische Luft in einen nmal kleineren Raum zusammengepreßt, zugleich im Schenkel ab eine Quecksilbersäule von der Höhe b_1 getragen, so ist $nb + b_1$ dem Drucke oder der Expansivkraft p_1 proportional, den das Gas im Behälter übt; man hat demnach $p_1 : p = nb + b_1 : b$ oder $p_1 = p . \frac{nb + b_1}{b}$ und erhält, wenn man statt p den aus dem Barometerstande b nach Pfunden berechneten Druck der atmosphärischen Luft auf die Flächeneinheit (auf 1 □ Zoll) setzt, die fragliche Expansivkraft in Pfunden.

Hülse anzündet. Die daselbst ausströmenden, durch Verbrennen des Satzes erzeugten Gase treiben dann durch Reaction gegen das obere Hülsenende die Rakete (sammt der Ruthe) senkrecht in die Höhe. — Schwärmer sind eine Art kleiner, dünner Raketen, die aus der Hand geworfen werden oder nach dem Zerspringen der eigentlichen Rakete aus dieser herabfallen und dabei durch Reaction immer in einer Richtung bewegt werden, welche der Richtung der nach Entzündung ihres Pulversatzes ausströmenden Gase entgegengesetzt ist. — Die Feuerräder sind Scheiben oder radartige Gestelle von Holz, die an ihrem Umfange gewöhnliche Schwärmer in mehr oder weniger tangentieller Richtung befestigt enthalten, welche, an den vom Umfange des Rades abstehenden Enden entzündet, dieses (durch die Rückwirkung der daselbst austretenden Gase) nach der entgegengesetzten Seite hin um seine Axe rotiren machen. — Daß das Zurückstoßen der Schießgewehre und das Rückwärtslaufen der Kanonen beim Abfeuern in gleicher Weise durch die Kraft bewirkt werde, womit die aus der Mündung des Rohres ausströmenden Pulvergase gegen dessen hinteres Ende drücken, ist nun für sich klar.

147. Weitere Betrachtung der Bewegung der Gase und dadurch bedingter Erscheinungen. Wegen des in **144** besprochenen Einflusses, welchen die Contraction des ausfließenden Gasstromes auf die Ausflußmenge des Gases nimmt, wird die verdichtete Luft aus Blasbälgen, Cylinder- oder andern Gebläsen den anzublasenden Feuern gewöhnlich durch kurze konische, gegen das äußere Ende hin sich verengende Ansatzröhren (sogenannte Düsen) zugeführt. Noch zweckmäßiger wäre die Anwendung von Düsen, deren Gestalt jener des contrahirten Theils des Luftstromes gleich oder wenigstens sehr nahe kömmt. Es würde dann, insbesondere auch bei vorsichgehenden Veränderungen in der Pressung der Luft, deren Ausflußmenge weniger schwanken. Kurze cylindrische oder prismatische Ansatzröhren vermehren die Ausflußmenge. Es wird da nämlich das Gas durch die Adhäsion an die Röhrenwand gezwungen, an dieser hinzufließen, und die Contraction verschwindet. Eine noch größere Vermehrung der Ausflußmenge weist die Erfahrung bei Anwendung kurzer, konischer, gegen das äußere Ende sich erweiternder Ansätze nach. Interessant ist die Erscheinung, welche sich zeigt, wenn (Fig. 283) durch eine Röhre

Fig. 283.

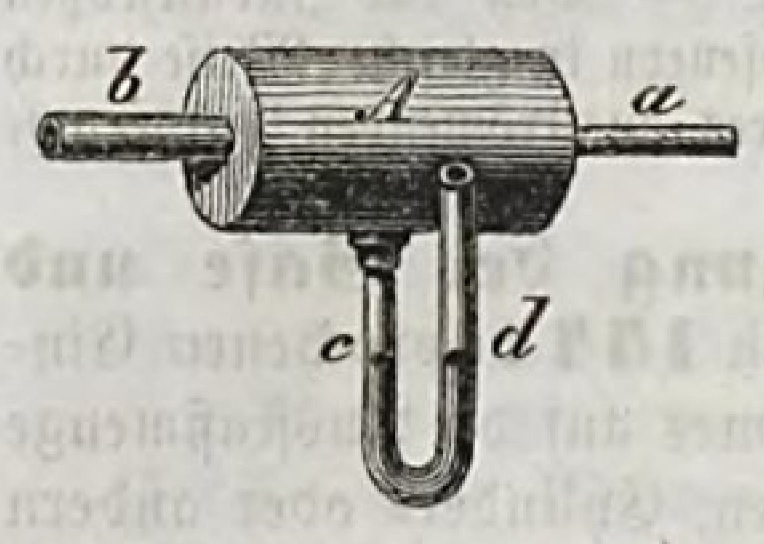


welche an ihrer Mündung b in eine ebene, am besten runde Platte cd aus Metall, Holz, Pappendeckel oder dgl. endigt, gegen eine andere derlei Platte ef, die hinreichend leicht beweglich (etwa an Fäden aufgehängt) und der ersten Platte cd über eine gewisse Grenze nahe gebracht ist, Luft mit etwas größerer Geschwindigkeit strömen gemacht, z.B. (aus dem Munde geblasen) wird. Es wird da die Platte ef durch den bei b austretenden Luftstrom nicht von der Platte cd weggestoßen, sondern mit zunehmender Geschwindigkeit gegen diese Platte bis auf einen schmalen Zwischenraum hinbewegt, durch welchen dann die Luft mit, von b aus abnehmender Geschwindigkeit ausfließt. Die Erklärung dieser beim ersten Anblick überraschenden Erscheinung ist einfach folgende. Indem die bei b ausströmende verdichtete Luft unter Beibehaltung ihrer Strömungsgeschwindigkeit sich in dem größeren Zwischenraume beider Platten ausbreitet und die daselbst vorhanden gewesene Luft mechanisch mit fortreißt, wird die Dichte der Luft in diesem Zwischenraume geringer als jene der die Platten äußerlich umgebenden atmosphärischen Luft, und diese muß daher vermöge des, bei etwas größerer Strömungsgeschwindigkeit und Ausdehnung der Platten nicht unbedeutenden Ueberschusses an Expansivkraft die leicht bewegliche Platte ef der Platte cd zutreiben. Uebrigens ist nicht nothwendig, daß beide Platten ebene Flächen haben, ja die Erscheinung zeigt sich sogar verstärkt, wenn die Platte cd eben und die Platte ef etwas convex ist. Da der Erfahrung gemäß dieselbe Wirkung Statt findet, wenn aus b anstatt irgend eines Gases Wasserdampf gegen ef hin ausströmt; so erhellet von selbst, wie wichtig die Berücksichtigung dieser Wirkung bezüglich des Schließens der Ventile an Dampfkesseln sei. Soviel ist gewiß, daß bei Ventilen, die aus einer größeren, auf einer kleineren Oeffnung in breiterer Fläche aufsitzenden Scheibe bestehen, die Scheibe,

sobald der zu stark gespannte Dampf aus dem Ventile auszuströmen beginnt, mit einer sehr bedeutenden Kraft an die betreffende Oeffnung (den Ventilsitz) angedrückt werden muß, so daß das Ventil die beabsichtigte Sicherung gegen das Zerspringen des Dampfkessels nicht gewährt, vielmehr zu diesem Zerspringen beitragen kann.

Hierher gehört endlich auch noch eine Erscheinung, die der in Fig. 284 abgebildete Apparat zeigt, welcher aus einem hohlen Gefäße A besteht, das auf der einen Seite eine enge Röhre a, auf der andern eine viel weitere Röhre b und unten eine heberartig gekrümmte, in der Krümmung Quecksilber enthaltende gläserne Röhre cd (alle drei Röhren sind beiderseits offen) eingesetzt hat. Für gewöhnlich steht das Quecksilber in beiden Schenkeln nach der Theorie der Communicationsgefäße und weil da die Quecksilberoberflächen von der atmosphärischen Luft in A und von derselben bei d einwirkenden Luft einen gleichen Druck erfahren, gleich hoch. Bläst man aber durch die engere Röhre a Luft in das Gefäß A, so wird, da diese, ihre Geschwindigkeit beibehaltend, in der nämlichen Zeit durch die weitere Röhre b in größerer Menge ab- als durch die engere a zufließen kann, in A eine Luftverdünnung erzeugt, und die äußere, dichtere Luft treibt das Quecksilber nach der Seite der Verdünnung hin, macht es also im Schenkel c steigen und in d fallen, während, wenn das Einblasen von Luft nach A durch die weitere Röhre b geschieht, gerade die umgekehrte Bewegung des Quecksilbers erfolgt, indem dann in einer Zeit durch die weitere Röhre b mehr Luft nach A gelangt, als durch die engere Röhre a entweichen kann, mithin in A eine Verdichtung über den äußeren Dichtigkeitsgrad entstehen muß.

Fig. 284.



148. Stoß bewegter Gase gegen ein Hinderniß. Dieser Stoß ist, im Ganzen genommen, nach den nämlichen Prinzipien zu beurtheilen, wie jener des Wassers oder einer andern tropfbaren Flüssigkeit, wovon bereits in **112** gehandelt wurde. Nur ist dabei wohl der Umstand nicht zu übersehen, daß kein Gas gegen einen Körper stoßen kann, ohne sich dabei zu verdichten, hierdurch eine Vermehrung seiner Expansivkraft zu erfahren und in Folge dessen auf den Widerstand zurückzuwirken, so daß der Stoß, den ein Gas, zum Stoße, den eine tropfbare Flüssigkeit gegen ein Hinderniß unter sonst gleichen Umständen übt, sich gerade wie der Stoß eines festen, elastischen Körpers zu jenem eines unelastischen verhält. Da im ersteren Falle doppelt so viel Bewegung erzeugt oder vernichtet wird, als (unter übrigens gleichen Verhältnissen) im letzteren und da man den Stoß des Wassers (**112**) dem Gewichte einer Säule dieses Körpers gleich schätzt, welche die gestoßene Fläche zur Basis und die zur Geschwindigkeit, womit es anstoßt, gehörige Fallhöhe zur Höhe hat; so sollte der Stoß der Luft oder eines andern Gases dem doppelten Gewichte einer Luft- oder Gassäule gleich sein, welche überall die Dichte wie beim Anstoß und die der Bewegungsgeschwindigkeit vor dem Stoße entsprechende Fallhöhe zur Höhe hat. Allein diese Theorie gibt in den meisten Fällen immer nur der Wahrheit mehr oder weniger nahe kommende Resultate, und man ist überhaupt bis jetzt weder auf dem Wege der Rechnung noch der Erfahrung so weit gekommen, daß man die den Stoß luftförmiger Körper betreffenden Probleme in allen Fällen mit erforderlicher Genauigkeit zu lösen vermag. — Die Kenntniß der Gesetze des Luftstoßes ist vorzüglich wichtig in Betreff der zweckmäßigsten Benützung der Kraft des Windes zur Bewegung der Schiffe mittelst Segel und zum Treiben der Windräder (Windflügel).

VIII. Abschnitt.

Hindernisse der Bewegung.

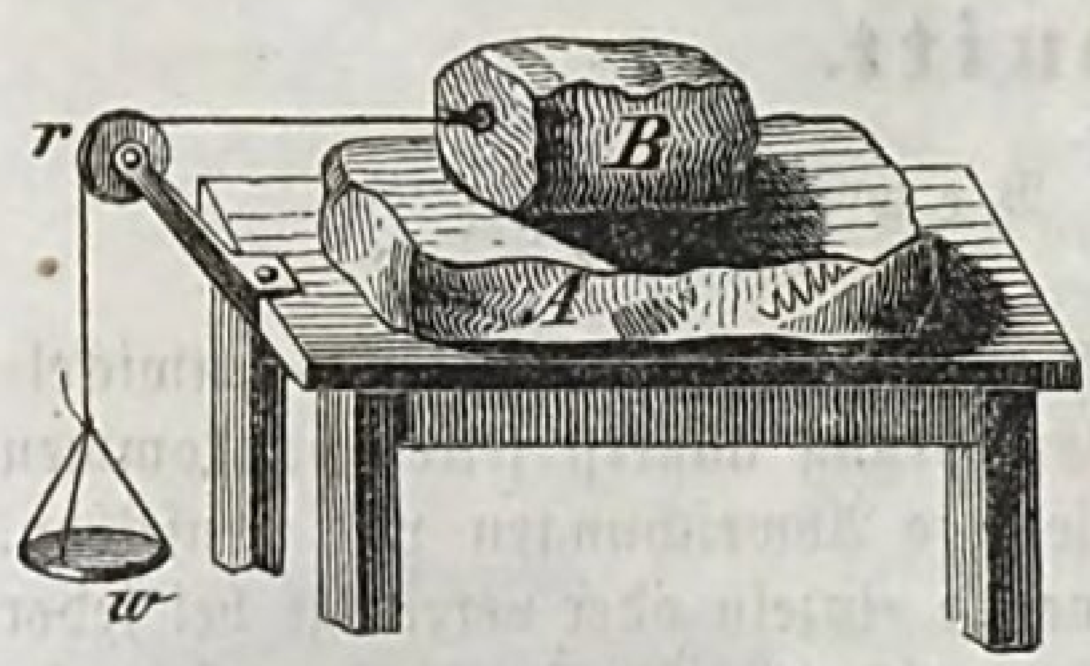
149. Die im Vorhergehenden, an verschiedenen Orten, theoretisch entwickelten Gesetze der Bewegung findet man in der Erfahrung äußerst selten vollkommen bestätigt; diese zeigt fast immer größere oder kleinere Abweichungen von denselben. Die Ursache hievon sind gewisse Hindernisse, welche einzeln oder vereinigt bei jeder Bewegung stets mit ins Spiel treten, gleichsam als die Bewegung verzögernde Kräfte wirken und bei der besagten theoretischen Entwicklung der Bewegungsgesetze ganz außer Acht gelassen wurden. Solche Hindernisse sind vorzüglich die Reibung des sich bewegenden Körpers an andern und der Widerstand, welchen flüssige, den bewegten Körper umgebende und demselben im Wege stehende Stoffe (sogenannte Mittel) diesem Körper entgegensetzen.

150. Reibung. Reibungscoefficient. Alle Körper besitzen in Folge der Porosität auf ihrer Oberfläche Erhöhungen und Vertiefungen, welche durch Glätten und Poliren sich zwar mehr und mehr vermindern, aber, selbst wenn diese Operationen auf den uns erreichbaren höchsten Grad gesteigert werden, doch nicht ganz entfernen lassen. Werden nun Körper über oder an einander hinbewegt, so dringen die Erhöhungen des einen in die Vertiefungen des andern ein und es müssen in jedem Augenblicke die ersteren (die Erhöhungen) umgebogen, abgebrochen, abgerissen oder aus letzteren (den Vertiefungen) herausgezogen werden. Dies verursacht ein Hinderniß der Bewegung, welches man mit dem Worte Reibung bezeichnet, und zu dessen Ueberwindung ein gewisser Kraftaufwand erfordert wird. Dieser ist daher das Maß der Reibung und unter sonst gleichen Umständen größer, wenn die eine der sich reibenden Flächen an der andern hingleiten gemacht, als wenn sie über derselben fortgewälzt wird. Im ersteren Falle muß nämlich das vorerwähnte Umbiegen, Abbrechen oder Abreißen der Erhöhungen, im letzteren blos das Herausziehen derselben aus den Vertiefungen, wozu es einer geringeren Kraft bedarf, bewerkstelligt werden, und man unterscheidet demnach eine gleitende und eine rollende oder wälzende Reibung. Da jene überall Statt findet, wo die Theile der einen Oberfläche parallel mit der andern fortbewegt werden; so ist auch die bei Drehung eines Zapfens oder einer Axe in einem Lager entstehende Reibung eine gleitende. Besondere Reibungen entstehen noch, wenn ein Körper auf einer Schneide oscillirt, wie z. B. bei den Wagebalken, oder wenn ein Körper, wie z. B. eine Magnetnadel, um eine Spitze, auf welcher er aufsitzt, schwingt.

Da man der Erfahrung gemäß den Satz: „die Reibung ist unter übrigens gleichen Verhältnissen dem Drucke der sich reibenden Flächen gegen einander proportional" . . . . (109) als ziemlich nahe richtig ansehen kann; so hat man vorzüglich die Frage zu beantworten gesucht, den wievielten Theil dieses Druckes die Reibung (die zu ihrer Ueberwindung erforderliche Kraft) ausmache, und nennt den Bruch, der dies anzeigt oder mit welchem man das Maß dieses Druckes multiplizirен muß, um die Größe der Reibung zu erhalten, den Reibungscoefficienten. Beträgt z. B. bei einem Drucke von 270 Pfund die Reibung 90 Pfund, so ist der Reibungscoefficient $= {}^{90}/_{270} = {}^{1}/_{3}$.

Gleitende Reibung. Der Reibungscoefficient, der, dem Satze (109) gemäß, bei sonst unveränderter Beschaffenheit der sich reibenden Körper von der Größe des Druckes dieser Körper gegen einander unabhängig, übrigens in den meisten Fällen kleiner als 1 ist, läßt sich immer nur durch passende Versuche finden. Am einfachsten gelingt dies bei der gleitenden Reibung, wenn man jedem der zwei Körper (A, B Fig. 285), deren Reibung an einander untersucht wer-

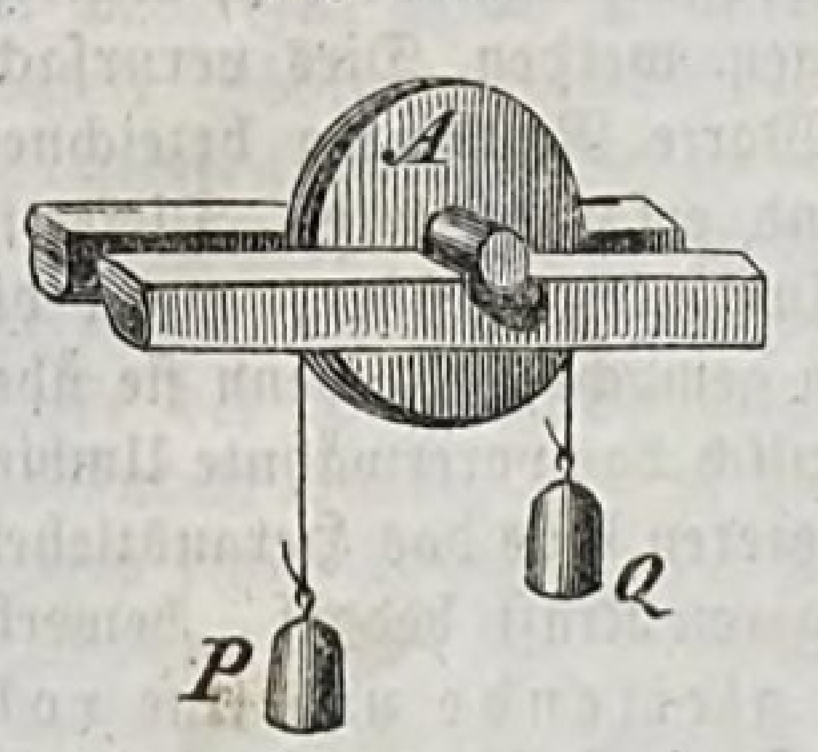
Fig. 285.



den soll, eine ebene Fläche gibt, die eine dieser Flächen (z. B. von A) in eine horizontale Lage bringt, den zweiten Körper (B, gleichfalls mit seiner ebenen Fläche) darauf legt, diesen im Erfordernungsfalle zum Behufe der Erzeugung eines für die genauere Bestimmung des Maßes der Reibung nöthigen, größeren Druckes mit Gewichten beschwert, eine an demselben befestigte Schnur horizontal über eine Rolle r leitet und auf eine Wagschale w am zweiten Ende der Schnur so lange Gewichte auflegt, bis der obere Körper (B) auf dem untern (A) hinzugleiten eben anfängt ... (1, oder bis diese gleitende Bewegung eine gleichförmige wird ... (2. Die aufgelegten Gewichte, vermehrt um das Gewicht der Wagschale und vermindert um das abgesondert zu bestimmende Gewicht, welches zur Bewegung der Rolle um ihre Axe, und zum Fortbewegen der Schnur über die Rolle hin erforderlich ist, gibt, und zwar im Falle ... (1 beim Uebergange aus der Ruhe in Bewegung, und im Falle ... (2 während letzterer, die Größe der Reibung an. Denn fände zwischen A und B keine Reibung Statt, so müßte die geringste auf B horizontal wirkende, mithin nach Satz (36) S. 73 von der (vertikalen) Schwerkraft unabhängige Ziehkraft ein Hingleiten des Körpers B auf A bewirken. Der Quotient dieser Reibungsgröße durch den vom Körper B auf A geübten Druck (das Gewicht von B mehr seiner etwaigen Belastung) ist der Reibungscoefficient. Die in Fig. 285 anschaulich gemachte Vorrichtung stellt der Hauptsache nach einen sogenannten Reibungsmesser (Tribometer) vor.

D r e h e n d e R e i b u n g. Zur Ermittlung der Reibungscoefficienten für die d r e h e n d e oder Z a p f e n - R e i b u n g dient eine fixe Rolle A (Fig. 286) mit einem um sie gelegten und durch Gewichte P und Q angespannten Seile.

Fig. 286.



Die Summe $P + Q$ der Gewichte, bei deren Anbringung die Rolle eben sich zu drehen anfängt, gibt den Druck, ihre Differenz $P - Q$ gibt die Kraft, welche, am Umfange der Rolle wirkend, der Reibung am Umfange des Zapfens das Gleichgewicht hält, und der Quotient $\frac{P-Q}{P+Q} \cdot \frac{a}{b}$ stellt (nach der Theorie der Rolle in **82**) den Reibungscoefficienten für den Uebergang aus der Ruhe in Bewegung dar, wenn a den Halbmesser der Rolle und b den Zapfenhalbmesser bedeutet. Der Reibungscoefficient während der Bewegung ist, den Lehren der Mechanik gemäß, $= \left(\frac{P-Q}{P+Q} - \frac{2s}{gt^2}\right)\frac{a}{b}$, wenn das Gewicht P in der Zeit t um den Raum s sinkt.

D i e w ä l z e n d e o d e r r o l l e n d e R e i b u n g ist der Widerstand, der beim Wälzen, d. i. bei derjenigen Bewegung eines Körpers entsteht, wo sich, wie z. B. bei einem Wagenrade, jeder Punkt fortschreitend und drehend zugleich bewegt. Sie ist im Vergleiche mit der gleitenden und drehenden Reibung weit geringer, weil bei derselben die in die Vertiefungen versenkten Erhöhungen nicht umgebogen, abgerissen oder abgebrochen, sondern nur daraus hervorgezogen werden.

151. Gesetze der Reibung. Zahlreiche Versuche, welche in eben angedeuteter Art unter allen Umständen, die auf die Reibung irgend einen Einfluß nehmen können, vorgenommen wurden, haben zu folgenden Gesetzen geführt: 1. Die oben erwähnte Proportionalität zwischen der Größe der Reibung und dem senkrechten (normalen) Drucke der sich reibenden Flächen gegen einander findet genau nur dann Statt, wenn dieser Druck so groß ist, daß im Vergleich mit demselben der Antheil, den die Adhäsion an der Reibung immer nimmt, als gering und untergeordnet betrachtet werden kann. 2. Die Reibung ist unter sonst gleichen Umständen unabhängig von der Größe der sich reibenden Flächen (weil bei größerer Ausdehnung dieser letzteren zwar m e h r e r e Erhöhungen und Vertiefungen in einander eingreifen, dieses Eingreifen aber, da bei der Statt findenden Vertheilung des nämlichen Gesammtdruckes unter die Punkte einer größeren Fläche auf jeden Punkt ein geringerer Antheil dieses Druckes kömmt, in gleichem Verhältnisse weniger tief

erfolgt). 3. Die Reibung ist beim Uebergange aus der Ruhe in Bewegung immer größer als während der letzteren, in diesem Falle aber ganz unabhängig von der Geschwindigkeit, wenn diese nicht so groß wird, daß eine die Reibung immer vermehrende Erhitzung der sich reibenden Flächen entsteht. 4. Die Reibung mit passenden Substanzen, sogenannten Schmiermitteln (Oel, Fett, Graphit, Seife u. s. w.), eingeschmierter Flächen ist (weil hiedurch die Poren oder Vertiefungen ausgefüllt werden) in der Regel geringer als uneingeschmierter und hängt weniger von der Beschaffenheit der sich reibenden Körper als von jener der Schmiermittel selbst ab. Für verschiedene Körper bedarf es, um die Reibung möglichst zu vermindern, auch verschiedener Schmiermittel (für Metall auf Metall ist Oel oder Fett, für Metall auf Stein ist Wasser, für Holz auf Holz ist Seife oder Graphit zu wählen u. s. w.) 5. Die drehende oder Zapfen-Reibung, welche, wie schon oben erwähnt worden, kleiner als die gleitende Reibung ist, wächst unter übrigens gleichen Umständen gleichmäßig mit dem Drucke und Halbmesser des Zapfens und mit der Anzahl der in einer bestimmten Zeit Statt findenden Umdrehungen. 6. Die Reibung nimmt mit der Zeit der Berührung zu, so daß sie nach einer gewissen Zeit den größten Werth erreicht. Dies geschieht bei Metall auf Metall fast augenblicklich, bei Holz auf Holz nach einigen Minuten, bei Holz auf Metall aber erst nach Tagen. Uebrigens ist die Reibung größer zwischen gleichartigen Körpern als zwischen ungleichartigen und je rauher die sich berührenden Flächen sind (obwohl auch eine zu große Politur die Reibung vermehren kann); bei mäßiger Glätte ist der Reibungscoefficient $\frac{1}{3}$. Am Schlusse des Buches folgen zwei Tafeln **XI. a** und **XI. b** der Reibungscoefficienten.

152. Wirkung der Reibung. Multiplicirt man die Größe der Reibung (d. i. das Product aus dem normalen Drucke in den Reibungscoefficienten) mit dem Wege **s**, den der sich reibende Körper in einer bestimmten Zeit **t** zurücklegt; so erhält man die Wirkung der Reibung für diese Zeit, d. i. denjenigen Theil der Arbeit (der mechanischen Leistung) der bewegenden Kraft, welcher in Folge der Reibung in der Zeit **t** verloren geht. Daß für den Uebergang aus der Ruhe in Bewegung der Weg $s = o$ und für die Zeiteinheit (eine Sekunde) gleich der Bewegungsgeschwindigkeit ist (denn die Bewegung wird als gleichförmig vorausgesetzt), begreift sich von selbst *).

153. Mittel die Reibung zu vermindern. Diese ergeben sich aus den angeführten Reibungsgesetzen von selbst. Solche Mittel sind z. B. Glätten der sich reibenden Flächen (Gesetz 6); Verminderung des Gewichtes des bewegten Körpers, soviel es andere Rücksichten zulassen (Gesetz 1); Vermeidung der Gleichartigkeit der sich reibenden Körper (Gesetz 6); Anwendung passender Schmiermittel

---

*) Beispiele. 1. Um einen 500 Pfund schweren Schlitten auf einer horizontalen und sehr glatten Schneebahn in Bewegung zu setzen, ist bei dem Reibungscoefficienten 0·04 die nöthige Kraft $= 0{\cdot}04 \times 500 = 20$ Pfund. 2. Wenn der Reibungscoefficient einer auf dem Straßenpflaster fortgezogenen Schleife $= 0{\cdot}45$ und die Belastung dieser Schleife 500 Pfund beträgt, so ist die erforderliche Arbeit, um diese Schleife 480 Fuß fortzuziehen, $= 0{\cdot}45 \times 500 \times 480 = 108000$ Fußpfund. (Unter einem Fußpfund ist eine Kraft zu verstehen, welche in der Sekunde auf dem Wege von 1 Fuß einen Widerstand von 1 Pfund überwindet, also z. B. in der Sekunde 1 Pfund auf die Höhe von 1 Fuß hebt.) 3. Läuft ein 15000 Pfund schweres Wasserrad auf zwei eisernen Zapfen von $\frac{1}{4}$ Fuß Halbmesser in bronzenen, fortwährend geölten Lagern, wo der Reibungscoefficient 0·075 ist; so beträgt für jede Umdrehung, d. i. für den Weg $= 2 \times \frac{1}{4} \times 3{\cdot}14$ $(= 2r\pi)$ die durch die Reibung verloren gehende Arbeit der bewegenden Kraft $\frac{2}{4} \times 3{\cdot}14 \times 0{\cdot}075 \times 15000 = 1766$ Fußpfund, und macht das Rad in der Minute 10, mithin in der Sekunde $\frac{10}{60} = \frac{1}{6}$ Umdrehungen, so ist die zur Ueberwindung der Reibung des Zapfens verloren gehende Arbeit $= \frac{1}{6} \times 1766 = 294$ Fußpfund.

(Gesetz 4); Umwandlung der gleitenden Bewegung in eine rollende oder wälzende (Gesetz 5). Eine solche Umwandlung wird bezweckt: durch den Gebrauch von Walzen zum Fortbewegen bedeutender Lasten, z. B. um ein großes Schiff vom Stapel laufen zu lassen, schwere Kaufmannsgüter in Magazinen von einem Orte zum andern hinzuschaffen u. s. w. (man rollt derlei Gegenstände auf unter dieselben geschobenen Walzen weiter); durch die Anwendung von Reibungsrollen oder Frictionsrädern anstatt gewöhnlichen Zapfenlager [es ruht da nämlich, wie Fig. 287 anschaulich macht, der Zapfen **z** einer sich drehenden Welle **W** auf den Peripherien dicht hinter einander liegender Rollen oder Räder **R**, **R** (Frictionsrollen, Frictionsräder), die sich um, in Lagern laufende Zapfen 1, 2 drehen, oder es lauft der Wellenzapfen **z** der Welle **W**, wie Fig. 288 zeigt, auf dem Umfange eines einzigen Frictionsrades **R** und zwischen festen Backen **a**, **b**]. Durch jede dieser Anordnungen wird, wie die Rechnung und Erfahrung lehrt, die Reibung beträchtlich vermindert.

Fig. 287.

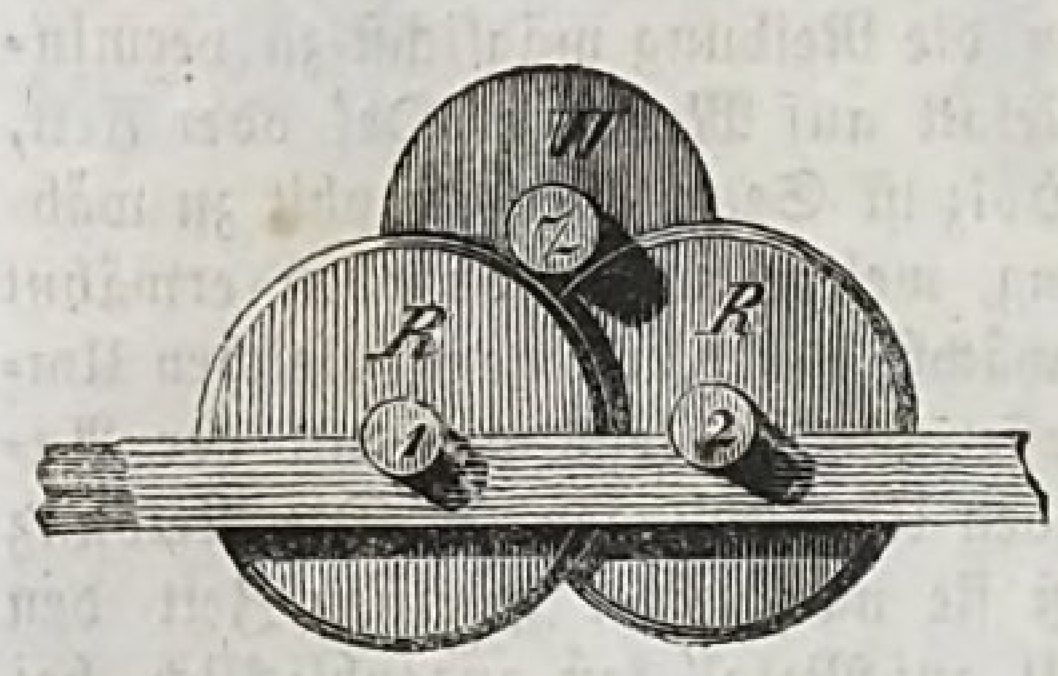
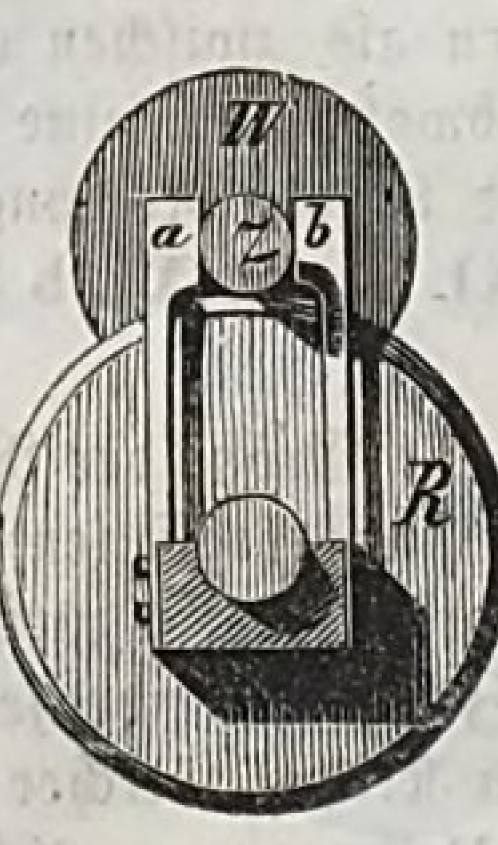


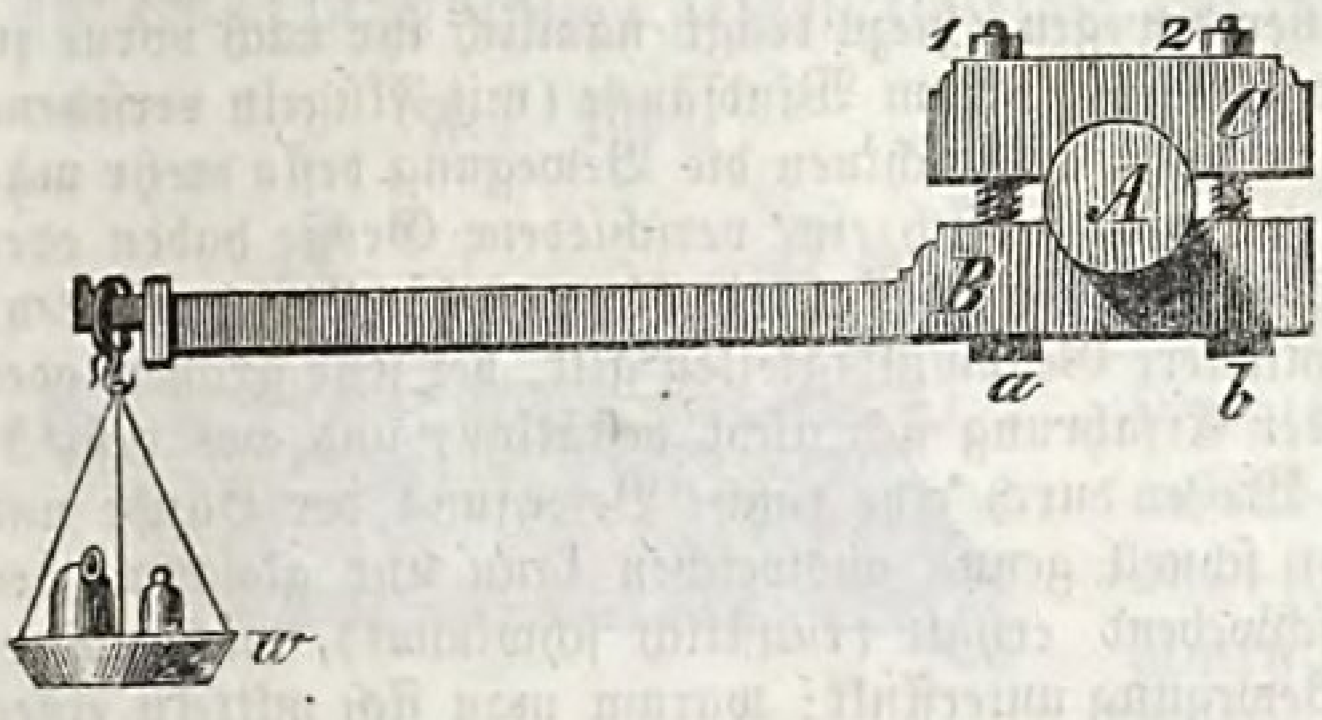
Fig. 288.



154. Nutzen der Reibung. So nachtheilig einerseits die Reibung wegen der durch sie bewirkten Verzehrung eines nicht unbedeutenden Theils der bewegenden Kräfte ist, so gewährt sie andererseits wieder vielfachen und großen Nutzen. Ohne Reibung könnte kein Körper auf einer schiefen Ebene ruhen; wir könnten selbst nicht die geringsten Anhöhen ersteigen; mit den Händen nichts festhalten; Körper weder zusammennageln noch zusammenschrauben oder zusammennähen; kein Knoten und keine Schlinge könnte halten; auf den Eisenbahnen würden die Locomotive weder sich selbst und noch weniger andere Wagenzüge fortbewegen können (das Fortlaufen der Locomotive wird bekanntlich durch die Reibung zwischen dessen Räderkränzen (Räderumfängen) und den Schienen bewirkt, indem nämlich die durch die Dampfkraft um ihre Axen rotiren gemachten Räder mit dem Umfange sich gleichsam gegen die, diesem Rotiren durch Reibung Widerstand leistenden Schienen stemmen; werden die Schienen mit der Zeit durch Abnützung so geglättet, daß sie den Rädern nicht mehr den erforderlichen Grad der Reibung bieten, so verbleibt die Locomotive, wenn auch deren Räder rotiren — da diese auf den Schienen glitschen — doch immer an derselben Stelle); die Reibung allein macht es möglich, daß man Bewegungen mittelst Riemen von einer Scheibe oder Welle auf eine andere übertragen, daß man die größten Schiffe, ohne Anker, blos durch lockeres, höchstens zweimaliges Umwickeln des Schiffseiles um einen am Ufer befestigten Pflock festhalten kann und daß die Kraft eines einzigen Menschen hinreicht, die schwersten Fässer dadurch langsam in den Keller hinabzulassen, daß er einen, am Kellereingange festgemachten, dann um das Faß geschlungenen und hernach mit dem zweiten freien Ende um einen außerhalb des Kellers befindlichen Pfahl einige Male herumgewickelten Strick allmälig nachläßt.

Auf der Reibung beruht endlich die Wirkung des zur Bestimmung der Kraft oder Leistungsfähigkeit einer Dampfmaschine, eines Wasserrades u. s. w. dienenden, sehr nützlichen Apparates, der unter dem Namen Prony's Zaum oder Bremsdynamometer bekannt ist, und dessen Wesen und Gebrauch aus Folgendem klar werden wird. Gesetzt, es wäre die Leistungsfähigkeit eines Wasserrades zu bestimmen, A (Fig. 289) wäre dessen Welle und diese soll, wenn das Rad im gehörigen (normalen) Gange ist, in der Minute n mal umlaufen; so wird sich dabei am Umfange der Welle eine Kraft äußern, die eine gewisse Arbeit zu verrichten vermag und welche sich dadurch ermitteln läßt, daß man an diesem Umfange eine künstliche, belie-

Fig. 289.



big vermehrbare Reibung erzeugt und die Größe derjenigen Reibung bestimmt, welche, während die Welle $n$mal umläuft (sich mit normaler Geschwindigkeit bewegt), von der besagten Kraft gerade überwunden werden oder welche vielmehr dieser Kraft gerade das Gleichgewicht halten kann. Die Erzeugung dieser Reibung geschieht nun mittelst Prony's Zaum, der in seiner einfachsten Gestalt aus einem Balken B und einem mittelst Schraubenbolzen a, b gegen denselben schraubbaren, hölzernen Sattel C besteht, welche beide (Balken und Sattel) sich an einen ursprünglich cylindrischen oder durch Anbringung eines concentrischen Ringes für den Versuch cylindrisch gemachten Theil der Welle innig anlegen und mittelst der Schraubenmuttern 1, 2 an dieselbe mehr oder weniger andrücken lassen. Werden nämlich in eine am Ende des Balkens oder Hebels B aufgehängte Wagschale w so viele Gewichte gelegt und zugleich die Schraubenmuttern 1, 2 so angezogen, daß dieser Hebel, während die Welle A mit der normalen Geschwindigkeit ($n$mal in der Minute) umläuft, in horizontaler Stellung verbleibt (von kleinen Schwankungen um diese Stellung herum abgesehen); so hält die am Umfange von A Statt findende Reibung R der am Hebel B wirksamen Kraft P das Gleichgewicht, man hat, wenn r den Halbmesser von A und p die Hebelarmlänge von B bedeutet, die Gleichung $Rr = Pp$ und daraus die Reibung R, mithin auch die sie gerade überwindende, am Umfange der Welle sich äußernde Kraft $= \frac{Pp}{r}$. Unter P hat man natürlich die in der Wagschale liegenden Gewichte, vermehrt um das Gewicht der Wagschale und das auf den Aufhängepunkt dieser Schale reducirte Gewicht des Hebels B zu verstehen. Multiplicirt man die Kraft $\frac{Pp}{r}$ mit dem Umfang $2r\pi$ der Welle A und mit der Anzahl n der in der Minute Statt findenden Umläufe; so erhält man, den Lehren der Mechanik zu Folge, die Leistung oder Arbeit des Wasserrades $= 2\pi nPp$. Dividirt man diesen Ausdruck, vorausgesetzt, daß die betreffenden Werthe für P in Wiener Pfunden und für p in Wiener Fußen substituirt worden, durch 430, so hat man, da eine Maschinen-Pferdekraft = 430 Wiener Fußpfund (**152**) angenommen wird, die Arbeitsgröße des Wasserrades in Pferdekräften ausgedrückt.

153. Widerstand des Mittels. Bewegt sich ein Körper in einer Flüssigkeit (Wasser, Luft rc.); so muß er hiebei dieses Mittel selbst in Bewegung setzen (vor sich her oder nach den Seiten hin u. s. w. treiben). Dies kann nur auf Kosten eines Theils seiner eigenen Bewegung geschehen, und er erfährt einen Widerstand, dessen Größe offenbar von seiner Größe, Gestalt und Geschwindigkeit und von der Beschaffenheit (Dichte, Grad der Flüssigkeit, Elastizität, Zähigkeit, Zustand der Ruhe und Bewegung) des Mittels abhängt, ohne daß es bisher auf dem Wege der Versuche oder der Rechnung gelungen ist, die Gesetze dieser Abhängigkeit in mit der Erfahrung ganz übereinstimmender Weise festzustellen. Indessen kann man annehmen, daß unter übrigens gleichen Umständen der Widerstand des Mittels 1. mit dem auf der Richtung des bewegten Körpers senkrechten, größten Querschnitte dieses letzteren wachse; 2. daß er dem Quadrate der Geschwindigkeit des bewegten Körpers (oder falls das Mittel selbst eine eigene Bewegung besitzt, dem Quadrate des Unterschiedes zwischen der Geschwindigkeit des Körpers und der ihr parallelen Geschwindigkeit des Mittels) und 3. der Dichte des widerstehenden Mittels direct proportional sei.

Aus dem Satze 1. erhellt die Abhängigkeit der Größe des Mittelwiderstandes von der Gestalt des bewegten Körpers, und man begreift, daß in dieser Beziehung alles die Bewegung des letzteren erleichtern müsse, was zum leichteren Ausweichen (zu leichterer Beseitigung der widerstehenden Flüssigkeitstheilchen) beiträgt. Es erklärt sich daraus: warum man der schweren Masse an einem Pendel eine flache (linsenförmige) Gestalt gibt; warum der Querschnitt eines Schiffes in der Richtung des Kieles nach vorn zu immer abnimmt; warum Schnellsegler ganz anders (lang und schmal) gebaut sein müssen, als für große Ladungen bestimmte Schiffe; war-

um man, nach der Seite oder mit vorwärts geneigtem Kopfe gehend, leichter die Luft durchschneidet (wenn man gegen den Wind geht); warum die Vögel in der Luft und die Fische im Wasser sich mit solcher Leichtigkeit hin und her bewegen (hiezu trägt nämlich ihr nach vorne zu immer schmäler werdender Körperbau sehr viel bei); warum Windfänge (mit Flügeln versehene Wellen) an Schlag- und Spieluhren oder an andern Maschinen die Bewegung desto mehr mäßigen, je größere Flächen die Flügel (die an und für sich eine verschiedene Größe haben oder gegen die Richtung ihrer Bewegung mehr oder weniger geneigt sein können) der Luft darbieten. Aus dem 2. Gesetze, welches aber nur für mittlere Geschwindigkeiten gilt, bei sehr großen oder sehr kleinen Geschwindigkeiten hingegen in der Erfahrung sich nicht bestätigt, und aus dem 3. Gesetze erklärt sich: warum der Mensch im Wasser durch eine rasche Bewegung der Hände und Füße nach unten (indem das Wasser nicht schnell genug ausweichen kann und gleichsam den Händen und Füßen als Stütze dient) sich schwebend erhält (künstlich schwimmt), während er bei zu geringer Schnelligkeit der besagten Bewegung untersinkt; warum man sich mittelst eines Fallschirmes, d. i. einer, einem Regenschirme, der unten einen Korb trägt, sehr ähnlichen Vorrichtung, in der Luft von beträchtlicher Höhe ohne Gefahr zur Erde herablassen kann (beim Fallen des Schirmes mit dem im Korbe befindlichen Menschen entfaltet sich nämlich der erstere vermöge des Luftwiderstandes, bietet der Luft eine große Fläche dar und erfährt in dem Maße als er in tiefere, an Dichte immer mehr zunehmende Luftschichten gelangt, einen immer größeren Widerstand, so daß die Fallbeschleunigung aufgehoben wird und der Schirm ganz langsam auf der Erde anlangt); warum Körper im Wasser langsamer als in der Luft, in verdichteter Luft langsamer als in gewöhnlicher und in dieser wieder langsamer als in verdünnter Luft fallen u. s. w.

IX. Abschnitt.

Von der Bewegung als Ursache des Schalles.

156. Begriff, Bedingung und Arten des Schalles. Jede Bewegung eines Körpers kann unter gewisser Bedingung zum Schalle, d. h. kann Ursache der eigenthümlichen, durch das Gehörorgan vermittelten Empfindung werden, die man mit dem Worte Schallempfindung oder Schall zu bezeichnen pflegt. Diese Bedingung ist, daß der bewegte Körper gegen einen andern stoße, auf denselben Impulse übe, welche durch ihn selbst oder nach Mittheilung an einen oder mehrere andere Körper durch diese ohne zu starke Schwächung ihrer Stärke bis zu dem Gehörorgane fortgepflanzt werden. Zur Entstehung eines Schalles gehört daher: 1. ein bewegter (Schall erregender, schallender) Körper; 2. ein Stoff, der die durch Einwirkung dieses Körpers auf einen andern erzeugten Impulse zum Gehörorgane fortpflanzt (ein sogenanntes Fortpflanzungsmittel des Schalles oder Schallmittel) und 3. ein gesundes Gehörorgan. — Ein durch einen einzigen Impuls des Schallerregers erzeugter Schall ist ein einfacher Schall, der, wenn er stark genug ist, Knall heißt. Folgen mehrere einfache Schalle regellos (in ungleichen Zeiten und verschiedener Beschaffenheit) auf einander, so können mannigfaltige Schall-Modificationen entstehen, für welche wir die Worte: Geräusch, Lärm, Brausen, Rasseln u. s. w. haben. Eine regelmäßige und so schnelle Folge mehrerer einfacher Schalle, daß diese von einander nicht mehr unterschieden werden können, sondern als ein Ganzes aufgefaßt werden, erscheint als Klang, und ein Klang, der in allen seinen Theilen gleichartig, d. i. nicht aus verschiedenen Klängen bestehend erscheint (also durch eine regelmäßige und schnelle Folge ein Ganzes bildender gleichartiger Schalle erzeugt wird), heißt Ton... (I). Die Lehre von den Tönen, ihrer Erzeugung und Gesetzmäßigkeit macht den wichtigsten und interessantesten Theil der gesammten Schalllehre (Akustik) aus und bildet deswegen auch den Hauptgegenstand der folgenden, über Akustik handelnden Paragraphe.

Daß, so wie eben angegeben wurde, die Schnelligkeit und Regelmäßigkeit des Aufeinanderfolgens der einzelnen Schalle allein den Unterschied zwischen Ge-

räusch, Getöse rc. und Ton begründet, beweist ein einfaches Experiment mit einem (am besten sägeförmig) gezähnten, etwa aus Messing bestehenden Rade **A** (Fig. 290), welches sich z. B. mittelst einer endlosen Schnur, die über eine kleine Rolle **a** an der Axe von **A** und über ein größeres, mit einer Kurbel versehenes Rad **B** geht, schnell in Rotation versetzen läßt. Hält man nämlich an die Zähne des Rades **A** ein Kartenblatt an; so vernimmt man, so lange beim langsamen Umlaufen des Rades die einzelnen Stöße der Zähne gegen das Kartenblatt noch deutlich unterschieden werden können, blos ein Geräusch; wird aber die Umlaufsgeschwindigkeit weit genug gesteigert, so daß das Ohr die besagten Stöße nicht mehr von einander zu sondern vermag, so geht das Geräusch in einen Ton über. Den nämlichen Beweis liefert auch Trevelyan's Instrument, Thermophon genannt. Dasselbe besteht 1. aus dem Wackler, d. i. einem etwa 4″ langen, 1·5″ breiten und 2—3‴ dicken, nach Art einer Rinne gestalteten Stücke **AB** (Fig. 291) von Kupfer, Stahl, Eisen oder Messing, welches an dem einen Ende einen 1—2‴ dicken und etwa 6″ langen, unten gewöhnlich einen Knopf **a** tragenden Draht **ab** eingeschraubt enthält und mit einer Furche **c** versehen ist, die in der Mitte der converen Seite, beinahe an der Einschraubungsstelle **b**, beginnt, der ganzen Länge nach fortlauft und einen dreiseitig prismatischen, gegen das Ende **B** hin allmälig bis zu einer Breite von etwa 2‴ größer werdenden Querschnitt hat; 2. aus einem bleiernen Prisma **D**, oder (ungewöhnlicher) einem oben abgerundeten Parallelepiped **E**, welches dem Wackler als Unterlage dient. Wird der Bleikörper auf einen Tisch gestellt, der Wackler bei gewöhnlicher Lufttemperatur so darauf gelegt, wie es die Figur zeigt, dann an der einen Seite mit dem Finger niedergedrückt und hierauf gleich wieder freigelassen; so schwankt er auf den Kanten der Furche **c** nach der Richtung seiner Breite einige Male hin und her, man vernimmt dabei jeden der Schläge, welche durch Zusammenstoßen der Furchenkanten mit der Bleimasse erzeugt werden, abgesondert und hört eine Art Klappern, aber durchaus nichts einem Tone Aehnliches. Wird aber der Wackler vor dem Auflegen auf den Bleikörper über einer Weingeistlampe so weit erhitzt, daß er beim Berühren mit dem nassen Finger zischt; so finden diese Schwankungen anhaltend und mit solcher Schnelligkeit Statt, daß die dabei erzeugten Schläge von einander nicht mehr unterschieden werden können, sondern in ein Ganzes zusammenfließen, und man vernimmt höhere oder tiefere Töne.

Fig. 290.

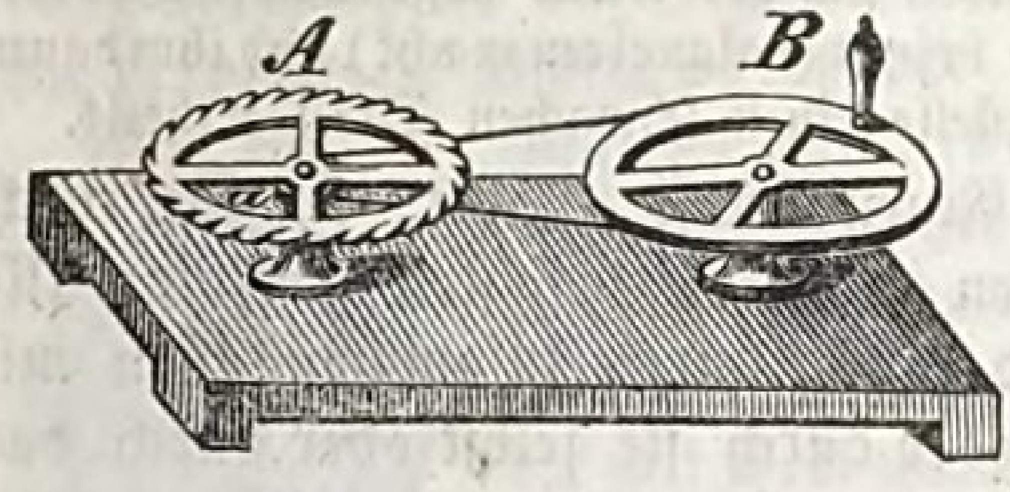
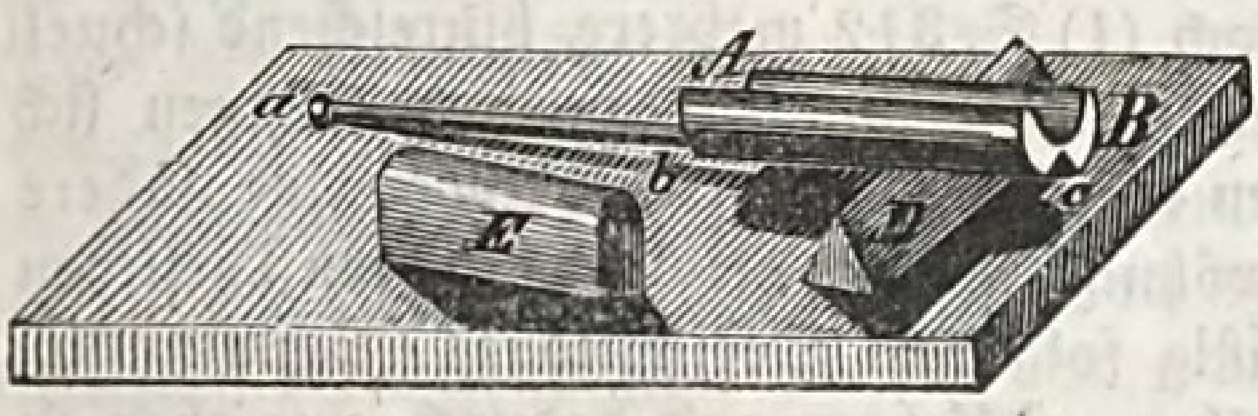


Fig. 291.



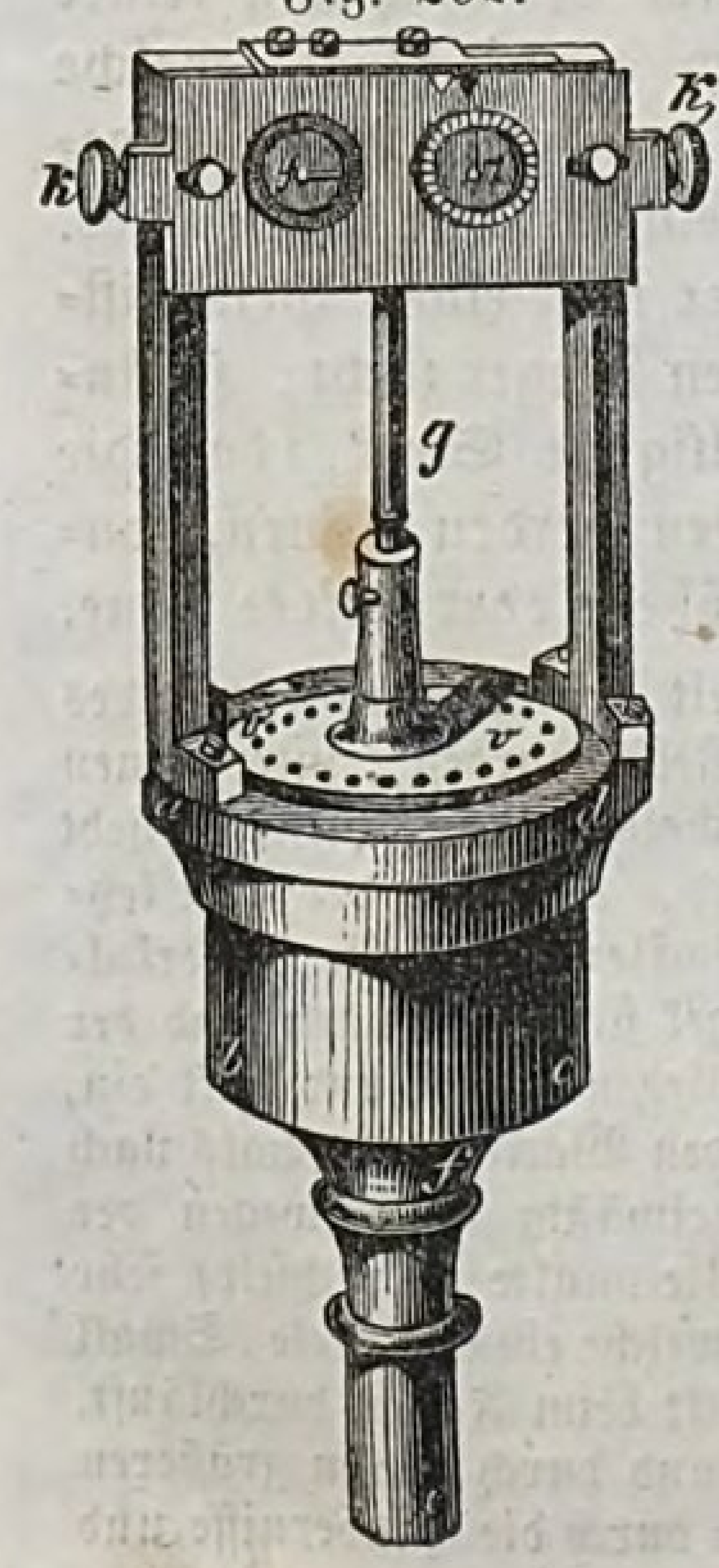
Ueber die Ursache des Andauerns und der größeren Schnelligkeit der Schwankungen des Wacklers in Folge seiner Erhitzung sind verschiedene Ansichten aufgestellt worden, unter denen die folgende, von Faraday herrührende, als die annehmbarste erscheint. Nach dieser erhebt sich das Blei an den zwei Punkten, wo es vom Wackler berührt wird, in Folge der von letzterem ausgehenden Erwärmung zu Hügeln. Neigt man dann den Wackler zur Seite, so erkaltet der außer Berührung mit demselben gebrachte Bleipunkt, der Hügel sinkt zusammen und der Wackler fällt zurück. Hiedurch wird der andere, ihn unterstützende Bleipunkt frei und sinkt ein, während der erstere Punkt sich wieder zu einem Hügel erhebt und den Wackler abermals nach der andern Seite hinneigt, und so wird dieser fortwährend in regelmäßig (und wegen der Schnelligkeit, womit die Erwärmung und Erkaltung der besagten Bleipunkte abwechselt) sehr rasch auf einander folgenden Wankungen (Oscillationen) erhalten, welche eben so viele Schall erzeugende Impulse verursachen. Der Weg, den jeder Berührungspunkt beim Fallen durchläuft, ist also größer als der, welchen er beim Steigen zurückgelegt hatte, und durch diesen größeren Fallraum wird ein Bewegungszuwachs gewonnen, der hinreicht, den durch die Hindernisse und

den jedesmaligen Stoß erlittenen Verlust zu compensiren. Schließlich mag hier noch die Bemerkung Platz finden, daß das Tönen erhitzter Metalle nicht nothwendig einen Wackler der beschriebenen Gestalt voraussetzt, sondern daß diese interessante Erscheinung sich auch recht leicht und gut mittelst eines erhitzten prismatischen, etwa 12″ langen, 6—8‴ breiten und 2—3‴ dicken Stahlstabes hervorbringen läßt, indem man denselben auf der etwas abgestumpften oberen Kante eines Bleiprismas in horizontaler Lage zur Ruhe bringt (balanciren macht) und ihm dann, falls das Tönen nicht von selbst beginnt, an der Auflagstelle einen schwachen Stoß ertheilt.

157. Schall erregende Körper. Einen Knall, Lärm, ein Geräusch u. dgl. können dem über diese Schallmodificationen in **156** Gesagten zu Folge alle Körper ohne Unterschied erzeugen: denn alle sind fähig, durch Zusammenstoßen mit andern Impulse zu erregen, welche dann entweder durch sie selbst oder durch das sie umgebende Mittel zum Ohre fortgepflanzt werden. So hört man einen Knall, Lärm oder ein Geräusch u. s. w. beim Schlagen mit dem Hammer gegen einen Stein, beim Zusammenstoßen zweier Bleikugeln, beim Zusammentreffen zweier Wassermassen oder wenn man mit einem Stock auf die Fläche des Wassers schlägt, beim plötzlichen Eindringen der Luft in einen leeren, oder verdünnte Luft enthaltenden Raum, wie er z. B. durch Verbrennen einer mit Knallgas gefüllten Seifenblase, durch schnelles Oeffnen eines Pennals (Federbüchse), durch Zerplatzen einer zusammengedrückten Thierblase, beim Durchschneiden der Luft mittelst einer Peitschenschnur, bei der Explosion der Geschütze, beim Donner u. s. w. entsteht.

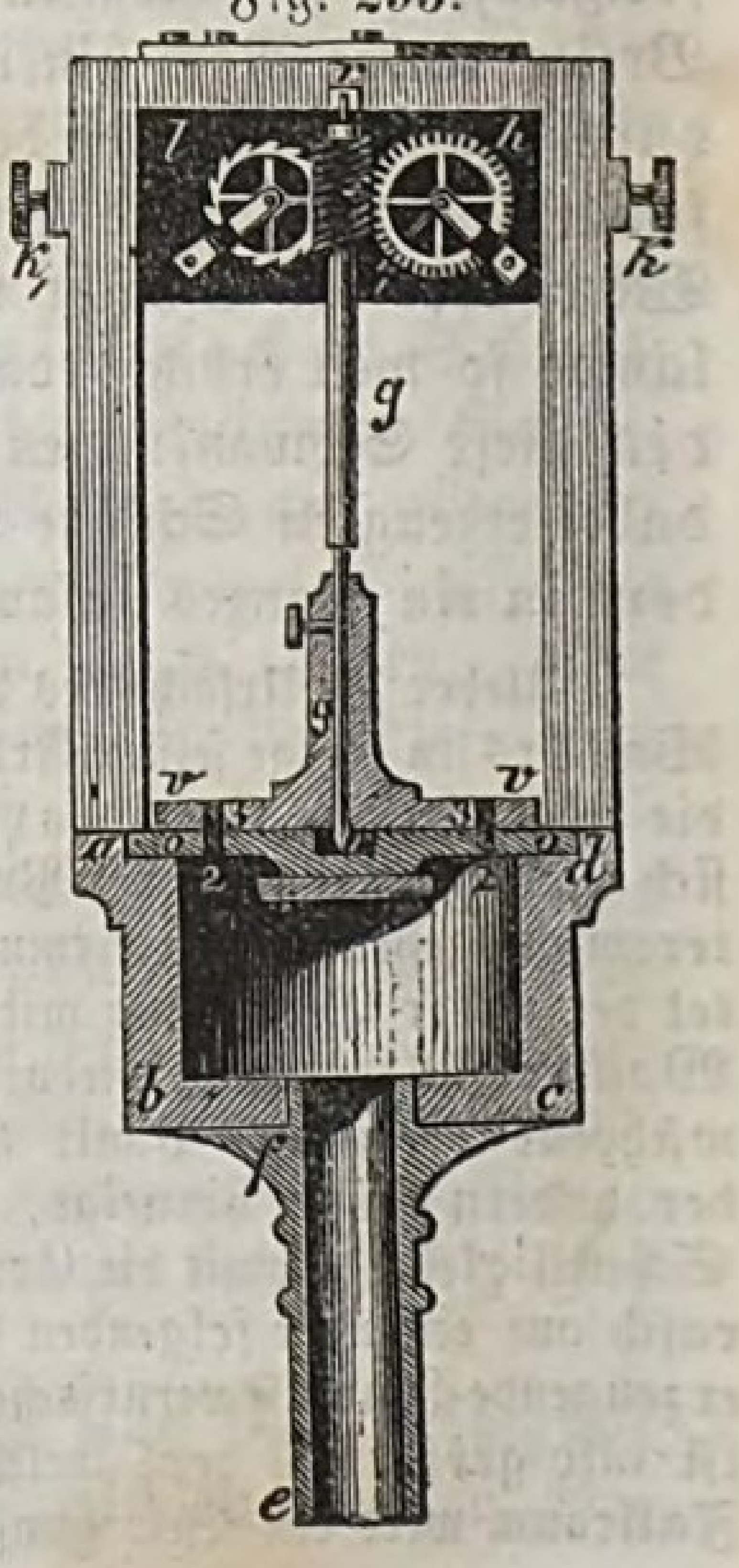
Zur Erregung eines Tones, welche nach (I) S. 312 mehrere, hinreichend schnell und regelmäßig auf einander folgende gleichartige Impulse voraussetzt, eignen sich vorzüglich die elastischen Körper, bei denen die, durch einen Stoß oder eine andere vorübergehende Veranlassung aus ihrer gewöhnlichen Lage herausgebrachten Theilchen durch eine Reihe sich schnell und regelmäßig folgender Oscillationen (Schwingungen) um diese Lage herum wieder in dieselbe zurückkehren und dadurch eine eben so große Reihe sich schnell und regelmäßig folgender Impulse auf das angrenzende Mittel hervorbringen. Unter der großen Zahl der des Tönens (der Tonerregung) fähigen, elastischen Körper sind die wichtigsten: gespannte Saiten und Membrane (Häute), Stäbe, Streifen und Platten aus Glas, Holz und gewissen Metallen, endlich die atmosphärische Luft, und diese sollen in folgenden Paragraphen vorzüglich als Tonerreger betrachtet werden.

Fig. 292.



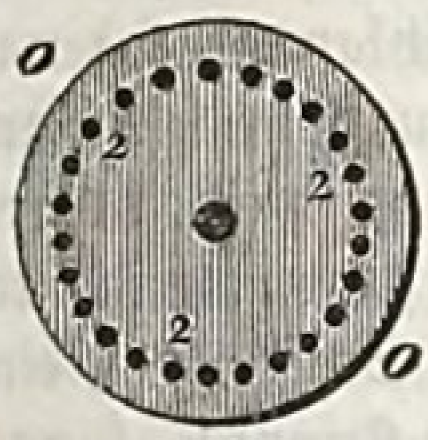
158. Höhe und Tiefe der Töne. Die Schnelligkeit in der Aufeinanderfolge der Impulse bedingt nicht nur (wie schon vorn einmal gezeigt wurde) die Entstehung eines Tones, sondern von dem Grade dieser Schnelligkeit, d. i. von der Anzahl der in einer bestimmten Zeit sich folgenden Impulse hängt auch diejenige Beschaffenheit des Tones ab, die man mit den Worten „Höhe" und „Tiefe" zu bezeichnen pflegt . . . (†). Dies kann in einfacher und wissenschaftlicher Weise durch ein von Cagniard de la Tour erdachtes und Sirene genanntes Instrument dargethan werden. Man sieht dasselbe in Fig. 292 in perspektivischer Ansicht und in Fig. 293

Fig. 293.



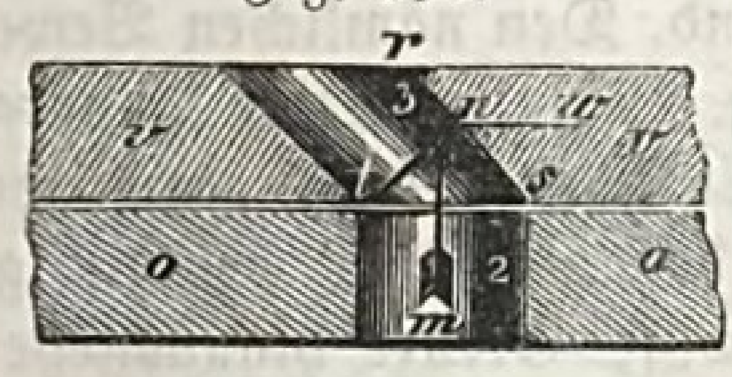
im vertikalen Durchschnitte abgebildet. In beiden Figuren sind die nämlichen Theile mit gleichen Buchstaben bezeichnet. abcd ist eine messingene, cylindrische Büchse von 2—3 Zoll Durchmesser und etwa 1 Zoll Höhe, die im Boden eine Röhre ef zum Einblasen von Luft eingeschraubt hat und mit einer an der oberen Fläche ganz ebenen, polirten Platte oo bedeckt ist. Diese, in Fig. 294 abgesondert dargestellte

Fig. 294.



Platte enthält in einem Kreise herum eine Reihe (gewöhnlich 25) senkrecht durchgehender, runder Löcher 2, 2 . . . welche gleich groß sind und gleich weit (meistens etwas mehr als der Durchmesser eines Loches beträgt) von einander abstehen. v v ist eine zweite Platte, die mit ihrer untern, gleichfalls genau geebneten und polirten Fläche der Platte oo so nahe steht, als ohne Berührung möglich ist, damit sie sich dieser Platte parallel und ohne merkliche Reibung an ihr um die mittelst Körner r, r sehr leicht bewegliche Axe g frei drehen kann. Die Platte v v ist auch mit einer kreisförmigen Reihe und zwar von eben so vielen Löchern 3, 3 . . als die Platte oo hat, versehen, die mit den Löchern 2, 2 . . . in oo genau coincidiren (zusammenfallen), aber durch v v nicht senkrecht, sondern schief durchgehen und in Ebenen geneigt sind, die auf der untern Fläche der Platte v v vertikal stehen und den Kreis, in welchem die Löcher 3, 3 . . . angeordnet sind, tangiren, so daß, wenn man durch die Röhre ef Luft einbläst, diese nach dem Durchgange durch die Löcher 2, 2 . . . schief gegen die Wände der Löcher 3, 3 . . . stößt und — in Folge Statt findender Zerlegung der schief wirkenden Stoßkräfte in auf die Wände senkrechte Componenten, die aufgehoben werden, und in Componenten, die in die Ebene der Platte v v fallen — die Platte v v mit einer je nach der Stärke des Einblasens größeren oder kleineren Geschwindigkeit um die Axe g in Bewegung setzt. (Stellt 2 in Fig. 295

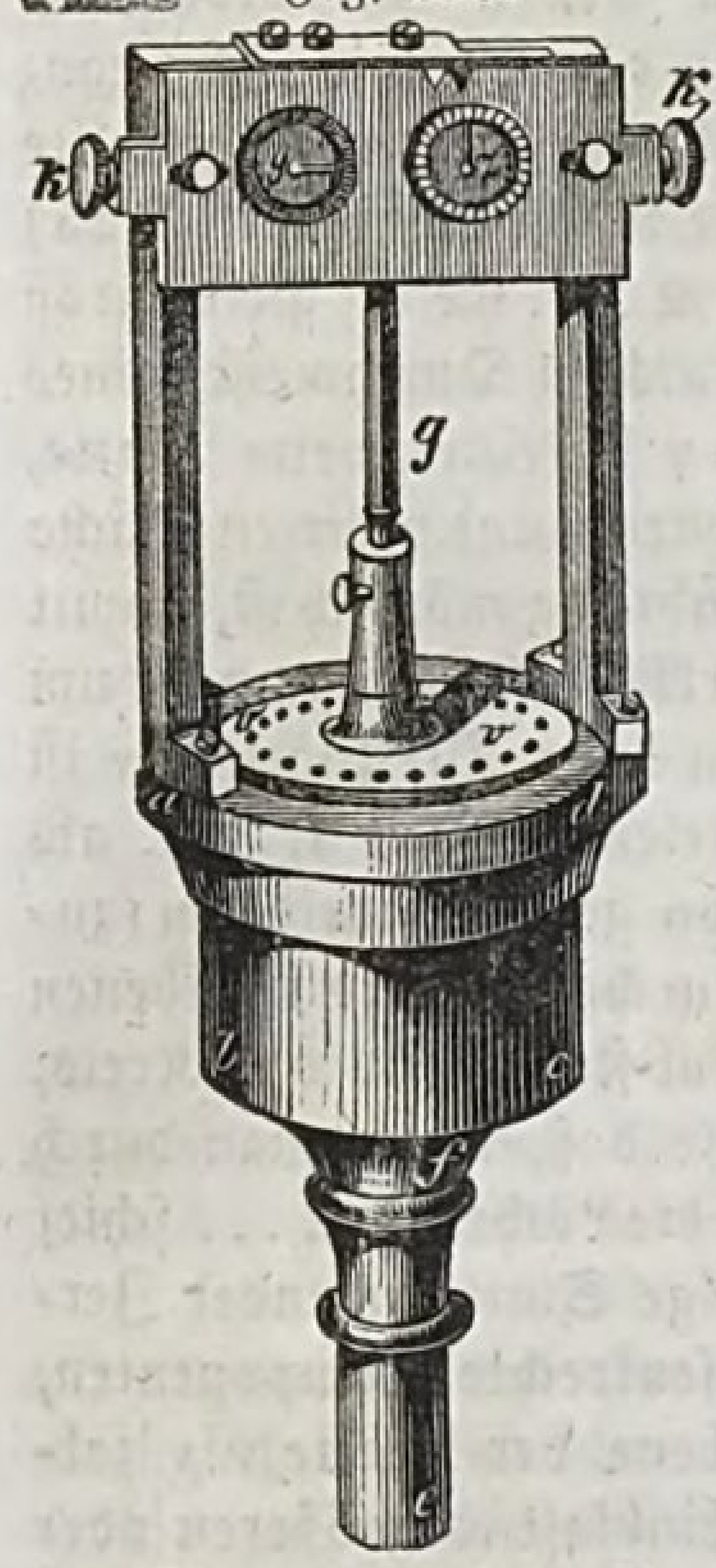
Fig. 295.



ein Loch in der Platte oo und 3 ein damit coincidirendes Loch der Platte v v, ferner der Pfeil mn die Richtung der Kraft vor, mit welcher die das Loch 2 passirende Luft gegen die Wand rs des oberen Loches 3 stößt; so sind tn und nw die Componenten, in welche diese Kräfte zerlegt und wovon tn durch den Widerstand von rs aufgehoben wird, während die Componente nw die Platte v v in der Richtung von n nach w in Bewegung zu setzen sucht.) Während die Platte v v über der Platte oo rotirt, kommen abwechselnd die Löcher 3, 3 . . . genau über die Löcher 2, 2 . . . und gleich darauf über die Zwischenräume dieser Löcher zu stehen. Im ersten Falle kann die bei ef in die Büchse abcd geblasene Luft durch die Löcher 3, 3 . . . austreten und auf die äußere Luft Impulse üben; im zweiten Falle hingegen sind die Löcher 3, 3 . . . durch die Zwischenräume der Löcher 2, 2 . . . bedeckt, es unterbleibt daher der besagte Luftaustritt und mit ihm auch das Stattfinden von Impulsen auf die äußere Luft. Diese erfährt daher, während die Platte v v sich einmal um ihre Axe dreht, so viele Impulse als diese Platte Löcher enthält, und man findet die Zahl der Impulse, welche so im Verlaufe einer bestimmten Zeit t auf die äußere Luft geübt werden (und von dieser, auf eine später zu besprechende Weise zu unserem Ohre fortgepflanzt, eine Schallempfindung erregen), wenn man die bekannte Anzahl der Löcher der Platte v v mit der Zahl der in der Zeit t erfolgten Umläufe dieser Platte multiplicirt. Zur Bestimmung dieser Zahl dient ein eigener, oben an dem Instrumente angebrachter Zählapparat, welcher aus zwei gezähnten Rädern h und l (Fig. 293) besteht, wovon das eine (h) durch die eingreifende, endlose Schraube x am oberen Ende der Axe g umlaufen gemacht wird und 100 Zähne hat, während das andere, gewöhnlich mit 30 Zähnen versehene Rad (l) durch einen aus der Axe des Rades h hervorstehenden Arm i bei jedem Umlaufe dieses Rades um einen Zahn weiter geschoben wird, mithin erst eine ganze Umdrehung macht, während das Rad

h 30 Umdrehungen vollendet. Zeiger y, z (Fig. 296), die an den Axen der Räder h und l befestigt sind, geben auf passenden Zifferblättern die Anzahl der in einer gewissen Zeit t vor sich gegangenen Umdrehungen der Platte v v an, und es rückt der Zeiger y bei jedem Umlaufe der Platte v v und der Zeiger z immer erst nach 100 Umläufen dieser Platte um einen Theilstrich des betreffenden Zifferblattes weiter. Um den Zählapparat genau mit Anfang dieser Zeit t in Thätigkeit und nach Ablauf derselben außer Thätigkeit setzen zu können, dazu dienen die Knöpfe k und k_1. Durch einen Druck gegen den ersteren wird nämlich das Rad h in die endlose Schraube x eingreifen gemacht, durch einen Druck auf den Knopf k_1 hingegen aus demselben ausgerückt und zum Stillstehen gebracht.

Fig. 296.



Setzt man nun die Platte v v durch schwaches Einblasen von Luft bei ef anfangs in eine sehr langsame Bewegung; so erfährt die äußere Luft (und durch sie das Ohr) nur in längeren Zeitintervallen auf einanderfolgende Impulse und man vernimmt blos ein Geräusch oder Gebrumme. Bei stärkerem Anblasen, wodurch die Umdrehungsgeschwindigkeit der Platte v v und mithin auch die Anzahl der Impulse nach außen zunimmt, nähert sich dieses Gebrumme immer mehr einem Tone, geht endlich bei gewisser Geschwindigkeitsgröße vollkommen in einen solchen über, und dieser Ton nimmt in dem Maße als die Bewegungs-Geschwindigkeit und die Anzahl der Impulse weiter anwächst, continuirlich an Höhe zu; wodurch die oben unter (†) S. 314 ausgesprochenen zwei Sätze bewiesen sind. Den nämlichen Beweis liefert auch der schon vorn einmal besprochene und in Fig. 290 abgebildete Apparat.

Mit einer diesem letzteren Apparate der Wesenheit nach gleichen, nur weit vollkommeneren Vorrichtung zeigte Savart zugleich, daß nicht nur bei zu geringer, sondern auch bei zu großer, über eine gewisse Grenze hinausgehender Schnelligkeit in Aufeinanderfolge der Impulse kein reiner Ton wahrgenommen werden kann (bei zu großer Schnelligkeit findet nur eine Art Zischen Statt). Er hielt sich durch die Resultate seiner Versuche zu dem Ausspruche berechtigt, daß zu deutlicher Wahrnehmung und Unterscheidung eines Tones in der Sekunde wenigstens 16 und höchstens 48000 Impulse gehören. Der tiefste und der höchste noch wahrnehmbare Ton wurden nämlich mit dem erwähnten Apparate erhalten (ersterer) wenn in der Sekunde wenigstens 8 und (letzterer) wenn in dieser Zeit nicht mehr als 24000 Zähne des mit entsprechender Geschwindigkeit in Umlauf versetzten Zahnrades an dem gegen die Zähne gehaltenen Kartenblatte vorübergingen, mithin das Kartenblatt im ersten Falle 16 und im letzten 48000 einfache Schwingungen, d. i. Hin- und Hergänge machte. Uebrigens sind diese Grenzen der Wahrnehmbarkeit eines Tones nur relativ; sie hängen nämlich auch von der Stärke der Impulse auf das Ohr ab, so daß, wenn diese nur hinlänglich groß ist, man auch bei weniger als 16 und bei mehr als 48000 Impulsen (oder einfachen Schwingungen des tonerregenden Körpers) noch Töne hört.

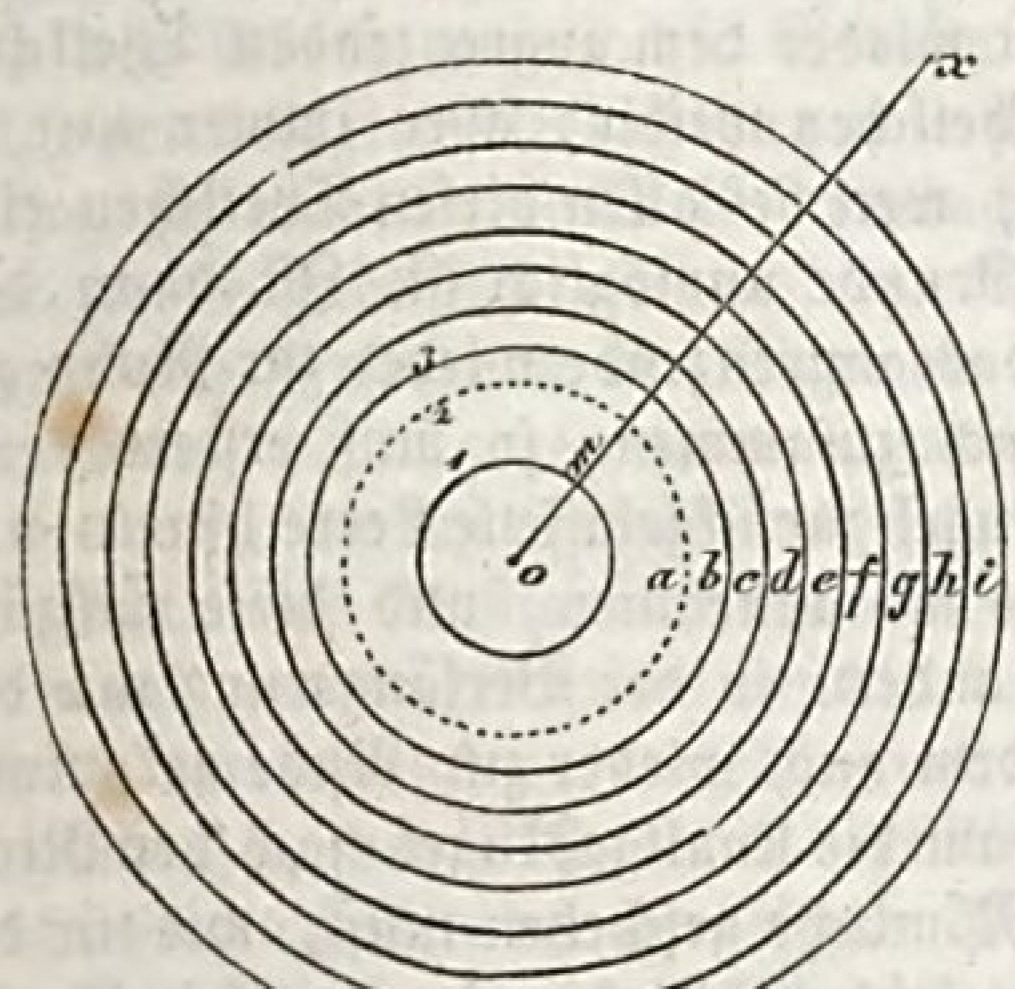
Den einzelnen Tönen C, D, E, F, G, H der großen Octave in der chromatischen Tonleiter liegen respektive die Schwingungszahlen: 128, 144, 160, 170, 192, 213, 240 zu Grunde, und diese geben jene der nten tiefern oder nten höheren Octave, je nachdem man sie mit 2^n dividirt oder multiplizirt.

159. Den Schall fortpflanzende Mittel. Alle festen, tropfbaren und ausdehnsamen Körper können den Schall fortpflanzen, wie folgende Beispiele darthun. Hält man an das eine Ende eines langen Stabes das Ohr und an das andere eine Taschenuhr, so hört man den Schlag der Unruhe dieser letzteren durch den

Stab stärker als nach Hinwegnahme desselben blos durch die atmosphärische Luft; der Donner der Kanonen, das Traben der Rosse im Marsche begriffener Cavallerie wird, wenn man das Ohr an den Erdboden legt, aus einer Entfernung noch deutlich gehört, aus welcher man durch die atmosphärische Luft keine Spur mehr davon wahrnimmt (zum Beweis, daß Stab und Erde nicht nur den Schall fortpflanzen können, sondern dies sogar besser thun als die atmosphärische Luft); das Zusammenschlagen zweier Steine unter Wasser hört man auf beträchtliche Distanzen, sowohl innerhalb als außerhalb desselben; Fische kommen auf den Ruf einer Glocke aus der Tiefe eines Bassins an die Oberfläche des Wassers zur Fütterung; ein in einer gläsernen Kugel an einem feinen ungedrehten Hanffaden (der nur in sehr geringem Grade den Schall fortzupflanzen fähig ist) frei schwebend aufgehängtes Glöckchen hört man beim Rütteln der Kugel deutlich klingen, wenn diese atmosphärische Luft, irgend ein anderes Gas oder blos Dünste von Wasser oder sonst einer Flüssigkeit enthält.

Das gewöhnlichste Schallmittel ist die atmosphärische Luft und deswegen soll vorzüglich der Hergang bei Fortpflanzung des Schalles durch diese näher betrachtet werden. Den Anfang mag die Betrachtung der Fortpflanzung des einfachen Schalles (Knalles) machen, und es kann dabei als Repräsentant der Schall erregenden Körper am besten eine mit Knallgas (d. i. ein Gemenge aus Sauerstoff und Wasserstoff, zwei Gase, welche die Chemie darstellen lehrt und welche die wesentlichsten Bestandtheile des Wassers ausmachen) gefüllte (kugelförmige) Seifenblase dienen, die, angezündet, mit einem Knalle verbrennt und sich dabei zuerst beträchtlich vergrößert (nach allen Seiten hin ausdehnt) und gleich darauf an ihrem Platze unter Bildung eines kleinen Wassertröpfchens einen leeren Raum zurückläßt (sich zu einem Wassertropfen zusammenzieht). Es stelle der Kreis 1 (Fig. 297) eine solche allerseits von Luft umgebene Knallgaskugel (im Durchschnitte) und der punktirte Kreis 2 die Grenze vor, bis zu welcher sie sich beim Verbrennen ausdehnt. Durch diese Ausdehnung, die mit großer Schnelligkeit geschieht, wird die Luft aus dem Raume a zwischen den beiden Kugelflächen 1, 2 in die an die Fläche 2 grenzende, z. B. zwischen den Kugelflächen 2 und 3 enthaltene Schichte b gedrängt, mithin daselbst, weil die Luft elastisch ist und die in der Schichte b schon vorhandene Luft der eindringenden nicht rasch genug ausweichen kann, Verdichtung Statt finden. Verbliebe nun die Knallgaskugel in der Ausdehnung 2, so würde nach **143** die Verdichtung aus der Schichte b in eine anstoßende Schichte c und so immer weiter in die Schichten d, e, f, u. s. w. fortrücken; in jeder Schichte aber, indem die Verdichtung aus ihr in die angrenzende übergeht, sich wieder der vorige, natürliche Dichtigkeits- und Ruhezustand herstellen, so daß, wenn die Verdichtung in die Schichte c gekommen, in der Schichte b, wenn sie nach d gekommen, in c und wenn sie sofort endlich nach i gekommen wäre, in h und in allen vorhergehenden Schichten b, c, d....h wieder die natürliche Dichte herrschen und fortbestehen würde. Da aber die Knallgaskugel in der erlangten Ausdehnung 2 nicht verbleibt, sondern sich, wie oben gesagt wurde, nachher in ein Wassertröpfchen zusammenzieht, wodurch in dem von der Fläche 2 eingeschlossenen Kugelraume eine Leere entsteht; so wird, da in diese Leere (nach **143**) aus der angrenzenden Schichte b Luft eindringen muß, in dieser Schichte, während die vorbesagte Verdichtung immer weiter nach außen fortrückt, eine Verdünnung Statt finden, diese wird allmälig in die Schichten c, d, e....i übergehen, in den

Fig. 297.



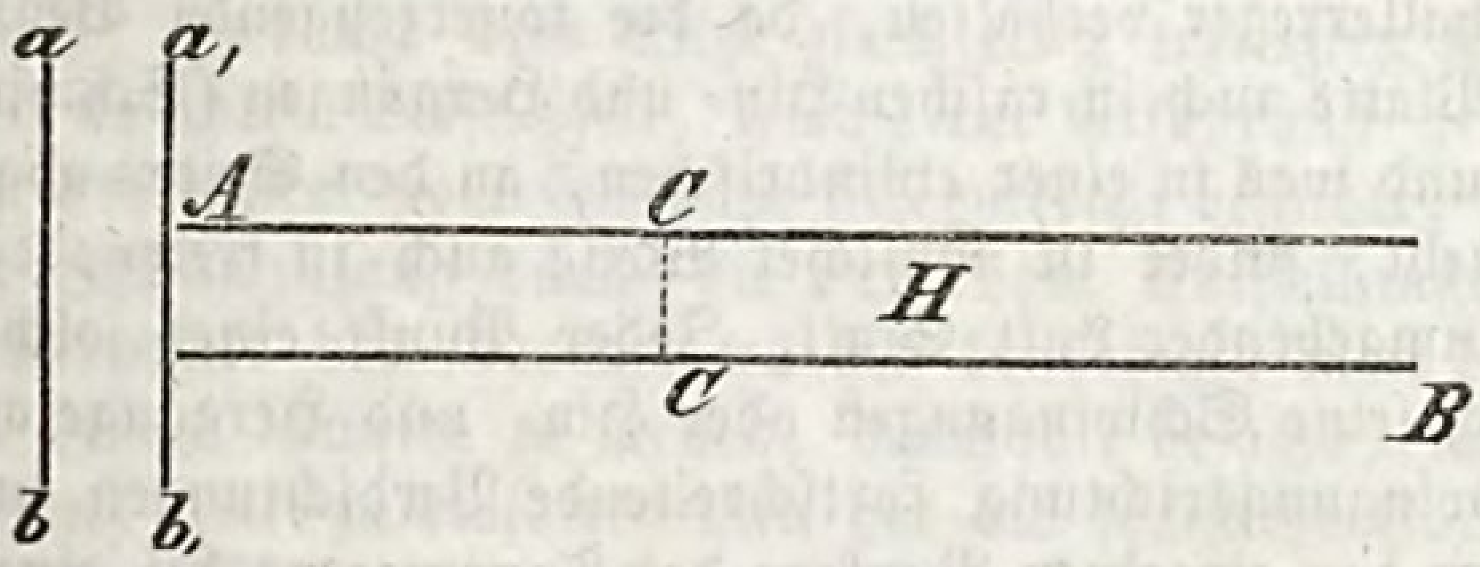
vorhergehenden Schichten wird sich wieder die natürliche Dichte herstellen, und es muß daher der vorausgegangenen Verdichtung eine ebenfalls in allen Richtungen nach außen fortschreitende Verdünnung folgen. Da ferner zwischen der Ausdehnung und Zusammenziehung der Knallgasblase kein meßbares Zeitintervall verfließt, sondern die Zusammenziehung sich augenblicklich und unmittelbar an die Ausdehnung anschließt; so muß auch die in jeder Schichte entstehende Verdünnung sich unmittelbar an die vorausgegangene Verdichtung anschließen, und es müssen daher (vorausgesetzt, daß die Luft rings um die verbrennende Knallgaskugel von gleicher Beschaffenheit ist, wo dann die Verdichtung und Verdünnung nach allen Richtungen hin in ganz gleichem Maße entsteht und fortschreitet) Verdichtung und Verdünnung in Form concentrischer, hohler, unmittelbar aneinander gereihter und sich immer mehr erweiternder Kugelschalen in der Luft sich fortpflanzen und wenn sie irgendwo mit hinreichender Stärke, d. h. in noch hinreichend starker Abweichung vom natürlichen Dichtigkeitszustande der Luft an das Ohr gelangen, auf dasselbe einwirken. Diese in der Luft nebeneinander kugelschalenförmig fortschreitende Verdichtung und Verdünnung machen zusammen eine Schallwelle aus, und die Dicke beider Kugelschalen bildet die Länge dieser Welle. Der eben beschriebenen Bildung und Fortpflanzung einer Schallwelle liegt folgende Bewegung der Lufttheilchen zu Grunde. Bei Ausdehnung der Knallgaskugel erhält ein jedes ihr anliegendes Lufttheilchen, z. B. das Theilchen m (Fig. 297) einen Stoß und in Folge dessen eine Bewegung. Diese kann aber nur in der Richtung des Halbmessers om der Kugel 1 nach außen erfolgen: denn jede Seitenbewegung wird durch die seitwärts gelegenen Lufttheilchen verhindert, die sich vermöge eines erhaltenen gleichen Stoßes mit der nämlichen Kraft wie das Theilchen m und diesem gerade entgegen nach den Seiten hin zu bewegen suchen. Das Theilchen m wirkt auf das in der Richtung om gelegene nächste und setzt es in Bewegung, dieses ertheilt wieder dem angrenzenden Theilchen Bewegung und so geht dies von Theilchen zu Theilchen weiter, aber immer nur in der Verlängerungsrichtung des Halbmessers om, weil bei allen diesen Theilchen eine Seitenbewegung aus dem vorhin angegebenen Grunde unmöglich ist. Ist dann das Theilchen m nach Abgabe seiner Bewegung an das angrenzende wieder zur Ruhe gekommen, und die Knallgaskugel zieht sich hernach zusammen; so muß ersteres eine rückgängige Bewegung in die von der Knallgaskugel zurückgelassene Leere hinein und zwar gleichfalls in der Richtung des Halbmessers mo annehmen, und diese rückgängige Bewegung muß sich nach und nach auf alle andern in der Verlängerung mx des besagten Halbmessers gelegenen und während dem auch wieder zur Ruhe gekommenen Lufttheilchen fortpflanzen. Da ferner rings um die Knallgaskugel nach den Richtungen aller von o aus gezogenen Radien das Nämliche geschehen muß, wie in der Richtung ox, und da diese Radien verlängert zugleich die Radien der mit der Knallgaskugel concentrisch fortschreitenden Schallwelle sind; so erhellt, daß die der Schallfortpflanzung zu Grunde liegende Bewegung der Lufttheilchen eine hin und her gehende (schwingende), daß sie geradlinig sei und daß ihre Fortpflanzung nach den Richtungen der Radien der Schallwelle erfolge, und man kann, da jede Richtung, in welcher die Bewegung der Theile des Schallmittels sich fortpflanzt, ein Schallstrahl heißt, einen solchen durch jede von o (dem Mittelpunkte der in der Luft fortschreitenden Schallwelle) aus gezogene gerade Linie darstellen.

Ganz in der Art, die eben auseinander gesetzt wurde, pflanzt sich in der Luft auch der durch eine Peitsche, das Oeffnen einer Federbüchse, Abfeuern eines Geschützes u. s. w. erzeugte Knall fort. Ist wegen der Gestalt oder sonstigen Beschaffenheit des Schallerregers die Schallwelle bei ihrer Entstehung nicht kugelförmig, so wird sie es in geringer Entfernung vom Erzeugungspunkte und beobachtet von da an genau die angegebenen Gesetze.

Um von der Schallfortpflanzung beim Tönen der vorn als die gewöhnlichen

Tonerreger angeführten Körper eine gehörige Vorstellung zu erhalten, wollen wir zum Repräsentanten aller dieser Körper eine tönende Glas- oder Metallplatte wählen und vorerst sehen, wie die schwingende (hin und her gehende) Bewegung, in welcher sich die Theilchen dieser Platte während des Tönens befinden, durch eine gleichförmig dichte, cylindrische, etwa in einer beiderseits offenen Röhre eingeschlossene Luftsäule zum Ohre fortgepflanzt wird. Zu diesem Ende sei ab (Fig. 298) ein Stück der besagten Platte, und dessen Bewegung beim Tönen bestehe darin, daß es sich mehrere Male abwechselnd und schnell aus der Stellung ab in die Stellung $a_1 b_1$ und aus dieser in jene zurück begibt (d. h. daß seine Theilchen in dem

Fig. 298.



Raume $ab a_1 b_1$ nach der Längenrichtung der von der Röhre **AB** begrenzten Luftsäule **H** hin und her schwingen), ohne daß ein Verweilen in den Stellungen ab und $a_1 b_1$ Statt findet. Bei der Bewegung (Excursion) von ab bis $a_1 b_1$ wird nun die, die Luft vor sich hertreibende Platte aus nach dem Vorhergehenden für sich klarem Grunde die Luftsäule **H** vom Anfange **A** an bis auf eine bestimmte Entfernung **C**, **C** hin verdichten. Da in dem Augenblicke, wo diese Verdichtung längst der Säule **H** (gegen **B** hin) fortzuschreiten und an ihrer Stelle die vorige natürliche Luftdichte sich wieder herzustellen beginnt, die Platte ihren Rückweg nach ab antritt und hinter sich eine Verdünnung zurückläßt, die ebenfalls gegen **B** hin fortschreiten muß (nach der Seite kann sich wegen des Widerstandes der Röhre weder die Verdünnung, noch die Verdichtung fortpflanzen); so folgt der besagten Verdichtung eine unmittelbar an sie angeschlossene Verdünnung und beide, zusammen eine Welle ausmachend, rücken allmälig längst der Säule **H** gegen das zweite Ende **B** derselben fort. Da die Theilchen des schwingenden Plattenstückes, wenn sich dieses von den Grenzen ab und $a_1 b_1$ seiner Excursion gegen die Mitte derselben, d. i. gegen seine natürliche Lage hin bewegt, immer eine größere und in dieser Lage selbst die größte Geschwindigkeit erlangen (indem wegen continuirlicher Wirkung der Elasticität diese Bewegung eine beschleunigte ist); so wird die Platte während einer Excursion auf die Luftsäule in der Röhre desto schneller und somit stärker verdichtend oder verdünnend einwirken, je mehr sie sich aus den Positionen ab und $a_1 b_1$ der Position in der Mitte dazwischen nähert, und es muß daher in der verdichteten Hälfte der vorbesagten Welle die Verdichtung und in der verdünnten Hälfte die Verdünnung von den Grenzen gegen die Mitte hin zunehmen, oder mit andern Worten, es müssen die Theilchen der den Schall fortpflanzenden Luft in den Mitten der beiden Wellehälften die größte schwingende Bewegung besitzen und gegen die Grenzen der Wellehälften muß diese Bewegung allmälig abnehmen . . . (†). Da ferner in dem Momente, wo die Verdünnung in der vorne bezeichneten Richtung vorwärts schreitet und an ihrem Platze die Luft wieder ihre natürliche Dichte zu erlangen anfängt, die Platte eine zweite Excursion von ab nach $a_1 b_1$ beginnt und hierauf wieder nach ab zurückkehrt, wodurch eine an die erste Welle sich anschließende zweite entsteht u. s. f.; so erhellt, daß in einer bestimmten Zeit **t** so viele Wellen unmittelbar nach einander längs der Luftsäule **H** fortschreiten müssen, als die Platte in dieser Zeit Schwingungen (Hin- und Hergänge) macht, und daß, wenn sich bei **B** unser Ohr befindet, dasselbe eben so viele regelmäßig wiederkehrende gleichartige Impulse (Stöße von den in der Richtung der Wellenbewegung schwingenden Lufttheilchen) empfängt, so daß es, wenn die Zahl dieser Impulse groß genug ist, einen Ton wahrnimmt. Da, dem Vorhergehenden zu Folge, das Fortrücken jeder

Verdichtung und Verdünnung in der Luftsäule durch Uebertragung eines Stoßes von einer Luftmasse auf eine andere von gleicher Größe bewirkt wird, und da sich diese Massen dabei wie einander berührende homogene und gleich große elastische Kugeln verhalten; so muß die Fortpflanzung des Schalles in einer cylindrischen oder prismatischen Luftsäule homogener Beschaffenheit, so wie es die Fortpflanzung eines Stoßes durch eine Reihe besagter Kugeln ist, eine gleichförmige sein *).

So wie die betrachtete Platte muß sich beim Tönen auch jeder andere der schon mehrmals erwähnten Schallerreger verhalten, da die tonerzeugende Bewegung derselben, so wie jene der Platte auch in raschen Hin- und Hergängen (Schwingungen) der Theilchen besteht, und was in einer cylindrischen, an den Seiten abgeschlossenen Luftsäule vor sich geht, findet in ähnlicher Weise auch in freier, den Ton erregenden Körper rings umgebender Luft Statt. Jeder Punkt eines solchen Körpers erzeugt in dieser durch seine Schwingungen oder Hin- und Hergänge auf einander folgende, in der Schwingungsrichtung fortschreitende Verdichtungen und Verdünnungen **), und alle von den einzelnen Punkten des Tonerregers bei einem Hin- und Hergange derselben erzeugten Wellen setzen sich zu einer einzigen, resultirenden Welle zusammen, welche eine Kugelschale bildet (die irgend einen Punkt des Tonerregers zum Centrum hat), dann, auf oben S. 317 angegebene Weise fortschreitend, sich zu einer immer größeren Kugelschale erweitert und, wenn sie irgendwo ans Ohr gelangt, die wirksame Ursache einer Schallempfindung wird. Die Zahl der Hin- und Hergänge der Punkte des schallenden Körpers, d. i. die Anzahl der Schwingungen dieses Körpers, bestimmt die Anzahl der wirksamen Wellen, und liegt diese innerhalb der vorne S. 316 angegebenen Grenzen, so entsteht beim Eintreffen der besagten Wellen am Ohre ein Ton, der desto höher ist, je mehrere solche Wellen in einer bestimmten Zeit am Ohre anlangen.

Auf die nämliche Weise, wie in der Luft, geht die Fortpflanzung des Schalles auch in andern ausdehnsamen und auch in festen und tropfbaren Körpern vor sich, nämlich durch fortschreitende Verdichtungen und Verdünnungen, welche durch die Einwirkung des Schallerregers in diesen Körpern vermöge ihrer Elasticität hervorgerufen und fortgepflanzt werden, insbesondere erfolgt in festen Massen von prismatischer oder cylindrischer Gestalt die Fortpflanzung eines an einem Ende derselben angeregten Schalles ganz so wie in einer cylindrischen Luftsäule.

Wenn gleichzeitig an mehreren Stellen eines Schallmittels Schallwellen angeregt werden, so pflanzt sich jede unabhängig von der andern fort. Treffen sie irgendwo zusammen, so gehen sie durcheinander durch und schreiten dann unverändert weiter, als ob kein Zusammentreffen Statt gefunden hätte. Hieraus erklärt sich, wie man gleichzeitig mehrere verschiedene Schalle oder Töne vernehmen kann.

160. Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles in der Luft. Da diese Fortpflanzung aus dem vorne angedeuteten theoretischen Grunde und auch nach dem Zeugnisse der Erfahrung eine gleichförmige ist; so erhält man deren Geschwindigkeit nach (21) auf S. 62, wenn man den binnen einer

---

*) Daß die Fortpflanzung eines Stoßes durch eine Reihe sich berührender, homogener und gleich großer, elastischer Kugeln nothwendig eine gleichförmige sei, erhellet hinlänglich, wenn man unter Berücksichtigung des Absatzes 97 bedenkt, daß durch die ganze Kugelreihe alle auf die Fortpflanzung der Bewegung Einfluß nehmenden Umstände überall völlig gleich sind. Weil z. B. die Umstände, welche die Zeit t der Fortpflanzung eines Stoßes von der ersten bis zur fünften Kugel bestimmen, genau die nämlichen sind, wie jene, welche die Fortpflanzungszeiten für je 5 der folgenden Kugeln, also immer für gleiche Wege bestimmen; so muß jede dieser Zeiten gleich t, mithin die Fortpflanzung der Bewegung eine gleichförmige sein.

**) Jede Seitenbewegung wird durch einen gleichen Verdichtungs- oder Verdünnungszustand der Luft zur Seite unmöglich gemacht.

gewissen Zeit t vom Schalle in der Luft zurückgelegten Weg durch die Zeit t dividirt. Die Ermittlung dieses Weges geschieht am besten durch Abfeuern von Kanonen oder Böllern. Wird nämlich ein Böller abgefeuert, so sieht ein in noch so großer Entfernung befindlicher Beobachter den durch Verbrennen des Schießpulvers erzeugten Blitz, vorausgesetzt, daß er denselben von seinem Standpunkte aus überhaupt zu sehen vermag, in dem Augenblicke des Entstehens (weil das Licht die größten irdischen Entfernungen in unmeßbar kleiner Zeit, in einem Momente, durchläuft), den mit dem Blitze gleichzeitig erzeugten Knall aber vernimmt er erst eine Zeit nachher. Diese Zeit, welche der Erfahrung gemäß desto größer ist, je weiter der Beobachter vom Geschütze sich entfernt befindet, hat offenbar der Schall zu seiner Fortpflanzung durch die Luft vom Aufstellungspunkte des Böllers bis zum Standpunkt des Beobachters hin benöthigt; man braucht daher blos den Abstand der beiden Punkte zu messen, durch die besagte, mittelst eines Chronometers gemessene Zeit zu dividiren und hat die fragliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Da aber der Wind, ausgenommen wenn er senkrecht gegen die Fortpflanzungsrichtung des Schalles weht, in welchem Falle die Geschwindigkeit des Schalles von jener des Windes ganz unabhängig ist*), durch seine Geschwindigkeit jene des Schalles ändert**); so darf bei dem beschriebenen Versuche der Einfluß des Windes nicht außer Acht gelassen werden. Man beseitigt diesen Einfluß, wenn man an zwei (hinreichend weit von einander entfernten) Punkten **A**, **B** gleichzeitig Böller abfeuert, auf die oben angegebene Art die Zeiten mißt, in welchen der Schall die Entfernung **AB** der zwei Punkte nach entgegengesetzten Richtungen durchläuft, hierauf, indem man sowohl mit der einen als mit der andern dieser Zeiten in die besagte Entfernung hineindividirt, die Geschwindigkeiten findet, mit welchen der Schall von **A** nach **B** und in gerade umgekehrter Richtung fortgepflanzt wurde und aus beiden Geschwindigkeiten, wovon die eine durch den Einfluß des Windes gerade um eben so viel verkleinert, als die andere vergrößert werden mußte, das arithmetische Mittel nimmt. Damit auch jeder störende Einfluß einer ungleichförmigen Erwärmung der Luft beseitigt werde, sollen die beschriebenen Versuche immer zur Nachtzeit angestellt werden. Aus solchen Versuchen hat sich nun ergeben, daß der Schall in trockener Luft und bei einer Temperatur von 0^0 **R.** in der Secunde einen Weg von 1050 Wiener Fuß zurücklegt, daß diese Geschwindigkeit unabhängig davon ist, ob die Fortpflanzung des Schalles in horizontaler Richtung, von unten nach oben oder umgekehrt Statt findet, daß sie bei höheren Temperaturen für jeden Grad über 0^0 **R.** um nahe 2 Wiener Fuß größer angenommen werden könne, und daß die Höhe, Tiefe und Stärke des Schalles auf dieselbe keinen Einfluß habe.

Die Schallgeschwindigkeit kann in manchen Fällen zur Ermittlung von Entfernungen (z. B. jener eines Donnerwetters, welche näherungsweise dem Producte aus dieser Geschwindigkeit in die in Sekunden ausgedrückte Zeit gleichgesetzt werden kann, die von der Wahrnehmung des Blitzes bis zu jener des zugehörigen Donners verfließt) nützlich sein, ins-

*) Diese Unabhängigkeit läßt sich ganz so beweisen, wie wir dies auf S. 72 für zwei rechtwinklich gegen einander wirkende Kräfte gethan haben. Man darf zu diesem Ende die Linien AB und AC, welche auf der angeführten Seite Kräfte bezeichneten, nur Geschwindigkeiten bedeuten lassen und weiter, ganz so wie es dort geschehen, argumentiren.

**) Geht der Wind nach einer Richtung, die mit jener des Schalles übereinstimmend oder ihr gerade entgegengesetzt ist, so wird die Geschwindigkeit des Schalles um die ganze Geschwindigkeit des Windes im erstern Falle vermehrt und im letztern vermindert. Ist die Richtung des Windes aber schief gegen jene des Schalles, so läßt sich die Geschwindigkeit des erstern immer in zwei Componenten zerlegen, wovon eine zur Schallrichtung rechtwinklig, daher ohne Einfluß ist, die andere aber mit dieser Richtung zusammenfällt und, je nachdem sie mit ihr übereinstimmend oder ihr entgegengesetzt ist, nach Maßgabe ihrer Größe die Geschwindigkeit des Schalles vergrößert oder vermindert.

besondere aber zur Bestimmung der Tiefe eines Schachtes, Brunnens oder dgl. dienen. Denn läßt man z. B. in einen Schacht einen Stein hinabfallen und mißt die Zeit T, die von dem Augenblicke an, wo der Stein am Anfange des Schachtes zu fallen beginnt, bis zur Wahrnehmung des Schalles verfließt, den der Stein beim Eintreffen am Grunde des Schachtes verursacht; so ist diese Zeit T offenbar aus zwei Theilen zusammengesetzt zu betrachten, nämlich aus der Zeit T_1, die der Stein im freien Falle braucht, um auf dem besagten Grunde anzulangen, und aus der Zeit T_2, welche der durch das Auffallen des Steines am Grunde erzeugte Schall benöthigt, um die ganze Tiefe des Schachtes bis zum Ohre des (am obern Ende des Schachtes befindlichen) Beobachters zu gelangen, so daß $T = T_1 + T_2$ ist. Bezeichnet b die von dem frei fallenden Steine in der Zeit T_1 zurückzulegende Tiefe des Schachtes und g die Acceleration im freien Falle, so hat man (nach Formel $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ auf S. 87) $T_1 = \sqrt{\frac{2b}{g}}$. Ferner ist, da der Schall sich gleichförmig bewegt und in der Zeit T_2 gleichfalls den Weg b zurückzulegen hat, nach (21) auf S. 62, $T_2 = \frac{b}{1050}$; es folgt daher $T = \sqrt{\frac{2b}{g}} + \frac{b}{1050}$, woraus die Tiefe b durch Auflösung einer quadratischen Gleichung leicht gefunden wird.

In festen und tropfbaren Körpern pflanzt sich der Schall mit größerer Geschwindigkeit fort, wie in der atmosphärischen Luft oder andern ausdehnsamen Stoffen. Man kann genauen Untersuchungen zu Folge die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles im Eisen 10½mal, im Zinn 7½mal, im Silber 9mal, im Kupfer nahe 12mal, im Glase 17mal, im gebrannten Thone 10—12mal, in den verschiedenen Hölzern 11—17mal und im Wasser über 4mal größer als in der atmosphärischen Luft annehmen. Im Sauerstoffgase beträgt sie 1002 Wiener Fuß, im Wasserstoffgase 4012 Wiener Fuß, in Kohlensäure 827 Wiener Fuß, im Kohlenoxydgase 1224 Wiener Fuß und im Oelgase 992 Wiener Fuß.

161. Reflexion des Schalles. So lange das Schallmittel gleichartig ist, geht nach jeder Richtung, in welcher die der Schallfortpflanzung zu Grunde liegende Bewegung der Theilchen des Schallmittels fortgepflanzt wird, d. i. nach der Richtung eines jeden Schallstrahles, genau das Nämliche vor sich, was beim Stoße gleichförmig dichter, elastischer Kugeln von gleichen Massen (mit welchen die besagten Theilchen verglichen werden können) Statt findet. Jedes Theilchen überträgt durch den Stoß an das nächste von gleich großer Masse seine Geschwindigkeit auf dieses und bleibt dann in Ruhe. Anders verhält sich aber die Sache bei Fortpflanzung des Schalles durch ungleichartige Mittel. Wenn die dieser Fortpflanzung zu Grunde liegende Bewegung an der Grenze zweier ungleichartigen Mittel anlangt, so kann daselbst nicht mehr wie im vorigen Falle die Geschwindigkeit des stoßenden Theilchens durch die Rückwirkung des gestoßenen aufgehoben werden, weil beide (ungleichartigen Mitteln angehörige) Theilchen nicht gleiche Massen haben (elastischen Kugeln von ungleichen Massen zu vergleichen sind); sondern es wird, wie die Formeln unter (66) und (67) S. 154 lehren, entweder das stoßende Theilchen mit einem Ueberreste seiner Geschwindigkeit die ursprüngliche Bewegung fortsetzen und sich mit dem gestoßenen Theilchen in dem nämlichen Sinne bewegen oder beide Theilchen erhalten nach dem Zusammenstoßen eine Bewegung in entgegengesetzten Richtungen, und zwar tritt ersteres ein, wenn die Masse des stoßenden Theilchens größer ist als jene des gestoßenen, d. h. wenn der Schall aus einem dichteren Mittel in ein dünneres übergeht, und letzteres, wenn das umgekehrte Statt findet. In beiden Fällen müssen nothwendig von der Trennungsfläche beider Mittel zwei Bewegungen ausgehen, die eine in das neue Mittel hinein, die andere in das alte Mittel zurück. Um die Nothwendigkeit dessen und die Folgen dieser Bewegungen klar einzusehen, stelle die Linie ab (Fig. 299) einen Schallstrahl, d. i. eine Richtung vor, nach welcher der Schall in irgend einem Mittel sich fortpflanzt; b sei ein an der Grenze dieses Mittels gelegenes Massetheilchen desselben, welches die Bewegung auf ein Massetheilchen c eines andern, dichtern Mittels überträgt (c habe demnach ein größere Masse als b), so wird, da in diesem Falle beide Theilchen nach dem Zusammenstoßen im entgegenge-

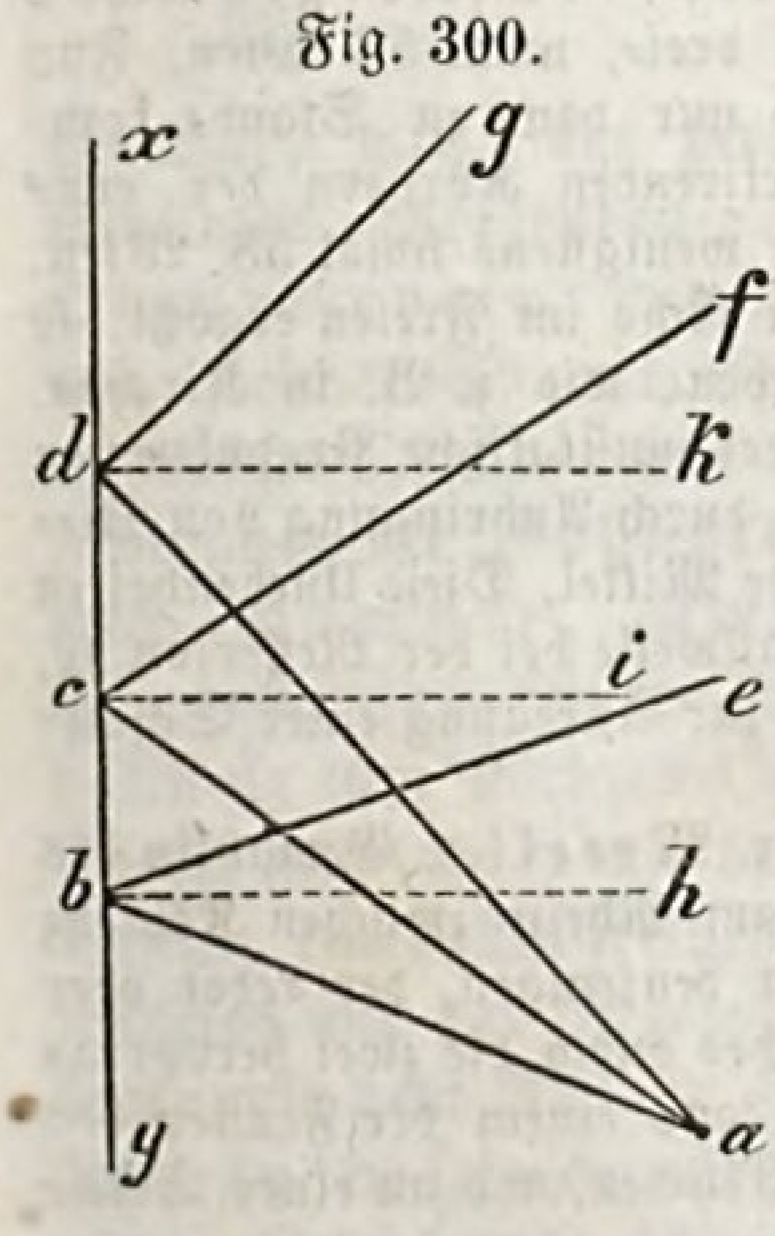
Fig. 299.



setzten Sinne sich bewegen, c in der Richtung nach x hin auf die Theilchen des zweiten Mittels und b in der Richtung gegen a auf die Theilchen des ersten Mittels so wirken, daß von der Grenze der zwei Mittel nach beiden Richtungen cx und ba hin gleichzeitig Verdichtungen ausgehen. Hat aber c eine kleinere Masse als b, was, wenn das zweite Mittel eine geringere Dichte besitzt als das erste, der Fall ist; so bewegt sich nach dem Zusammenstoßen beider Theilchen nicht nur das Theilchen c in der Richtung gegen x hin, sondern es bleibt auch dem Theilchen b in der nämlichen Richtung noch eine Bewegung übrig, und in Folge dieser Bewegungen wird c nach x hin eine Verdichtung und b nach a hin eine Verdünnung veranlassen, so daß von der Grenze der heterogenen Mitel aus in das neue Mittel eine Verdichtung fortschreitet und gleichzeitig in das ursprüngliche Mittel eine Verdünnung zurückkehrt. Was von dem Schallstrahle ab und von seinem Eintrittspunkte b in das heterogene Mittel eben gezeigt wurde, gilt von allen Strahlen einer Schallwelle und ihren Eintrittspunkten in ein heterogenes Mittel. Es wird daher, so oft eine Schallwelle an die Grenzfläche heterogener Mittel gelangt, von da aus immer eine schallfortpflanzende Bewegung nicht nur in das neue Mittel übergehen, sondern auch in das ursprüngliche Mittel zurückkehren. In Bezug auf diese letztere Bewegung sagt man, der Schall werde an der Trennungsfläche heterogener Mittel zurückgeworfen oder reflectirt und, da die gegenseitige Einwirkung der in besagter Trennungsfläche an einanderstoßenden Theilchen des neuen und des vorhergehenden Mittels der Action zu vergleichen ist, welche eine elastische Wand und gegen sie stoßende elastische Kugeln aufeinander üben; so muß die Zurückwerfung des Schalles an der Trennungsfläche heterogener Mittel nach demselben Gesetze, wie die Zurückwerfung elastischer Kugeln von einer elastischen Wand, d. i. so geschehen, daß die Richtungen der von den Punkten der Trennungsfläche in das ursprüngliche Mittel zurückkehrenden Bewegungen und die Richtungen, nach welchen die den Schall fortpflanzenden Bewegungen an die besagten Punkte gelangen, d. h. daß die reflectirten und die directen Schallstrahlen mit den in diesen Punkten errichteten Senkrechten in einerlei Ebene fallen, und mit denselben gleiche Winkel bilden. (110)

Bezeichnen die Linien ab, ac, ad rc. (Fig. 300) Strahlen einer von a ausgehenden Schallwelle, und sind b, c, d rc. die Punkte, in welchen sie die Trennungsfläche xy heterogener Mittel treffen; so stellen die Linien be, cf, dg rc., welche mit den in b, c, d rc. errichteten Senkrechten (Normalen) bh, ci, dk rc. eben so große Winkel, wie die Linien ab, ac, ad rc. bilden, die reflectirten Schallstrahlen vor. Aus Vorstehendem erhellt nun von selbst, daß jede Schallwelle an der Trennungsfläche wie immer ungleichartiger Mittel sich gleichsam in zwei Theile theilt, wovon der eine in dem neuen Mittel fortschreitet, der andere aber in das ursprüngliche Mittel zurückkehrt und deren jeder für sich, wenn er in hinreichender Intensität irgendwo zum Ohre gelangt, eine Schallempfindung anregen muß.

Fig. 300.



In der Reflexion des Schalles finden ihre Erklärung: der Nachhall, der Wiederhall oder das Echo, das Rollen des Donners und noch mehrere andere Erscheinungen, die aber passender in einem späteren Absatze besprochen werden. Wird eine Schallwelle, nachdem sie das Ohr passirt und durch Einwirkung auf dasselbe eine

Schallempfindung angeregt hat, von irgend einem heterogenen Mittel (z. B. einer Wolke, einer Mauer, einer Felsenwand, einer Luftschichte anderer Temperatur u. s. w.) reflectirt, und sie gelangt wegen geringer Entfernung dieses Mittels früher zum Ohre zurück, als dieses zu Folge Erholung von der besagten ersten Einwirkung für die Wahrnehmung einer zweiten wieder empfänglich geworden; so fällt die durch die reflectirte Welle erzeugte Schallempfindung mit der früher (durch die directe Welle) erregten theils zusammen, und verstärkt dieselbe, theils schließt sie sich an sie an, so daß hiedurch eine Verlängerung des ursprünglichen Schalles, d. i. ein **Nachhall** Statt findet. Kehrt hingegen der reflectirte Schall wegen größerer Entfernung des reflectirenden Körpers erst dann wieder zum Ohre zurück, nachdem sich dieses schon einige Zeit von dem directen Schalle erholt hat; so vernimmt es den reflectirten Schall abgesondert von dem directen, diesen also gleichsam noch einmal, und es findet ein **Wiederhall** oder **Echo** Statt.

Das Echo kann ein-, zwei-, drei-. . . n **silbig** oder ein-, zwei-, drei-. . . n **fach** sein, je nachdem von mehreren nacheinander erzeugten Lauten einer, zwei, drei . . . n wiederhallen oder **ein** Schall ein-, zwei-, drei-. . . nmal wiedergehört wird. Bedingung eines n **silbigen** Echo's ist eine so große Entfernung des den Schall zurückwerfenden Mittels, daß das Ohr schon von n direkten Lauten erholt ist, wenn der erste dieser Laute in Folge Reflerion zurückkehrt. Spricht man z. B. schnell nacheinander die Laute a, b, c, d aus und der Laut a kehrt zum Ohre zurück, nachdem sich dieses von zwei Lauten erholt hat, so fällt der reflectirte Laut a mit dem direkt ausgesprochenen c, der reflectirte Laut b mit dem direkt ausgesprochenen d zusammen (a und b werden wegen überwiegender Stärke der direkten Laute c, d nicht gehört) und dann folgen, ohne daß ihre Wahrnehmung durch einen direkten Laut mehr gestört wird, die reflectirten Laute c, d. Das Echo ist demnach ein **zweisilbiges**. Zu einem n **fachen** Echo gehören n den Schall zurückwerfende Körper von in einem solchen Verhältnisse ungleich großen Entfernungen, daß der weiter entfernte den Schall erst dann dem Ohre wieder zurücksendet, wenn es sich von dem Schalle völlig erholt hat, der von dem zunächst weniger entfernten Körper reflectirt worden. Da der Erfahrung gemäß das Ohr gewöhnlich nur etwa 8, selbst das geübteste nicht mehr als 9 einzelne Laute in der Sekunde unterscheiden kann, dasselbe also zur Erholung von einem Impuls $^1/_8$, wenigstens $^1/_9$ Sekunde braucht; so muß, damit ein **einsilbiges** Echo entsteht, z. B. von mehreren schnell nacheinander ausgesprochenen Silben die letzte wiederholt werde, der den Schall reflectirende Körper mindestens so weit vom Ohre entfernt sein, daß diese letzte Silbe frühestens $^1/_9$ Sekunde nach dem Momente ihres Aussprechens zum Ohre zurückkehrt. Da in der Luft der Schall in der Sekunde einen Weg von 1050 Wiener Fuß, mithin in $^1/_9$ Sekunde $^{1050}/_9$ Wien. Fuß durchläuft; so muß, damit ein einsilbiges Echo Statt finde, die Schallwelle vom Munde zum reflectirenden Körper hin und von diesem zum Ohre zurück wenigstens $^{1050}/_9$ Wien. Fuß zurückzulegen haben, mithin die Entfernung des reflectirenden Körpers mindestens die Hälfte des Weges, d. i. $^{1050}/_{18}$ oder nahe 58 Wien Fuß betragen. Bei geringerer Entfernung entsteht nur ein Nachhall. Nach dem eben Gesagten sieht man nun von selbst ein, daß zur Entstehung eines **zwei-, drei-, . . n silbigen** Echo's eine Entfernung des reflectirenden Körpers von mindestens zwei-, drei-, nmal 58 Wien. Fuß erforderlich sei, und daß ein **zwei-, drei- . . n faches** Echo nur dann zu Stande kommen könne, wenn von den dazu nöthigen zwei, drei- . . . n reflectirenden Körpern der erste wenigstens 58, der zweite wenigstens zweimal 58 und . . . der nte wenigstens nmal 58 Wien. Fuß von dem Orte der Schallanregung entfernt ist. So sehr ein Echo im Freien ergötzt, so sehr stört es und muß vermieden werden in Lokalitäten, in welchen, wie z. B. in Kirchen, Hörsälen, Concertsälen u s. w., Reden und Vorträge gehalten oder musikalische Produktionen gegeben werden. Das Unebenmachen der Wände dieser Lokalitäten durch Anbringung von Ziergathen oder dgl. ist das gewöhnliche und dem Zwecke ganz entsprechende Mittel. Diese Unebenheiten zersplittern und zerstreuen nämlich nach allen Richtungen die Schallwelle bei der Reflerion so, daß der zum Ohre zurückgelangende Theil derselben nicht mehr die zur Anregung einer Schallempfindung nöthige Stärke hat.

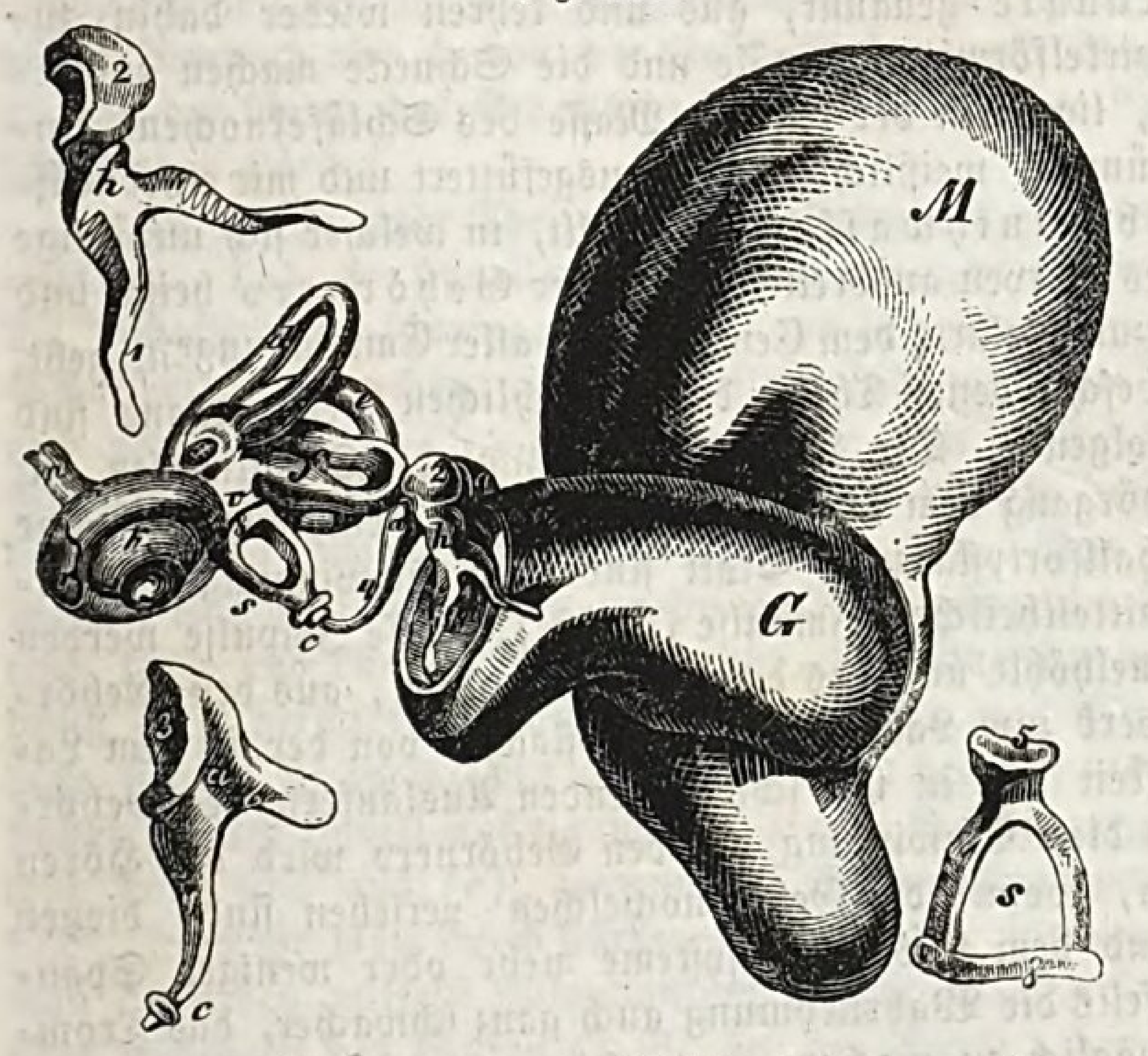
Ausgezeichnet und berühmt sind das Echo: am Grabmale der **Metella**, Gemahlin des **Crassus**, welches den 1. Vers der Aeneide 8mal wiederholt; am Rhein zwischen Koblenz und Bingen, wo ein Laut 17mal wiederholt wird, ohne daß man denjenigen, der redet oder bläst, selbst hört; beim Schlosse Simoneta unweit Mailand, welches durch die zwei hervorragenden Flügel des Schlosses gebildet wird und einen Pistolenschuß aus einem der Fenster des Hauptgebäudes 56mal wiederholt; in den Adersbacher Felsen in Böhmen, wo an einer Stelle 7 Silben 3mal wiedergegeben werden u. s. w.

Das Rollen des Donners oder der donnerähnliche Schall, der beim Abfeuern einer Pistole, eines Böllers oder dgl. zwischen Felsen und Bergen oder bei sehr bewölktem Himmel vernom-

men wird, kömmt von einem mehrfachen Wiederhalle des durch den Blitz (die elektrische Entladung der Gewitterwolke) oder durch die Explosion des Pulvers erzeugten Knalles in Folge Reflexion von den verschieden entfernten Felsen, Bergen oder Wolken.

162. Das Gehörorgan. Zur Wahrnehmung eines Schalles gehört außer einem denselben erregenden und einem ihn fortpflanzenden Körper auch noch ein gesundes Gehörorgan, durch dessen Vermittlung das Schallmittel auf das Gehirn des Hörenden einwirkt und hiedurch auf weiter nicht begreifliche Weise eine Schallempfindung hervorruft. Für den Physiker genügt es, die Einrichtung und Functionen dieses Organs beim Menschen genauer zu kennen, welches im Allgemeinen die Gehörorgane aller andern Geschöpfe an Vollkommenheit übertrifft. Die Hauptttheile dieses Organs liegen im Innern des Kopfknochens (Felsenknochens), nur die Ohrmuschel ragt über die Kopfoberfläche hervor und bildet das äußere Ohr. Sie geht in einen nach außen knorpligen und nach innen knöchernen Kanal, den sogenannten Gehörgang, über, von dem ihre Windungen gleichsam nur eine Ausbreitung sind und der am inneren Ende mit einer damit verwachsenen, sehr elastischen Haut verschlossen ist, die das Trommelfell oder das Paukenfell heißt. In Fig. 301, welche die im Innern des Kopfes gelegenen Haupttheile

Fig. 301.



des menschlichen Ohres von rechts nach links in der Ordnung anschaulich macht, in der sie von außen nach innen aufeinanderfolgen, ist M die Ohrmuschel, von der rückwärtigen dem Kopfe zugewendeten Seite betrachtet, G der Gehörgang und F das Trommelfell. Hinter dem Trommelfelle, welches den Gehörgang in schiefer Richtung begrenzt, so daß es mit demselben oben einen stumpfen, unten einen spitzen Winkel macht, beginnt eine unregelmäßig elliptisch gestaltete, im Mittel 4''' weite Höhle im Kopfknochen, welche, die Trommelhöhle genannt, mit einer zarten Schleimhaut ausgekleidet ist, durch einen hinten im Schlunde endigenden Kanal, die sogenannte Eustachische Röhre oder Ohrtrompete, mit der Mundhöhle in Verbindung steht (wodurch sie stets Luft von gleicher Spannkraft mit der äußeren erhält) und eine Reihe unter einander vereinigter Knöchelchen einschließt, welche, die kleinsten im menschlichen Körper, zusammen die Gehörknöchelchen heißen, einzeln wegen ihrer Gestalt die Namen Hammer, Ambos, linsenförmiges Bein des Silvius und Steigbügel führen und in Fig. 301 sowohl vereint als abgesondert (im Verhältnisse zum übrigen Ohre in etwas größerem Maßstabe) dargestellt sind. Gleiche Theile sind immer mit den nämlichen Buchstaben bezeichnet. Der Hammer h hat die Gestalt eines Winkelhebels; der längere Hebelarm 1 ist mit dem Trommelfelle verwachsen und der kürzere, abgerundete 2 (der Kopf des Hammers) ist in einem Gelenke mit dem Ambose a vereinigt. Dieser ist einem zweiwurzligen Backenzahne ähnlich, hat in seinem mittleren Theile eine Vertiefung 3, welche für den Hammerkopf 2 die Gelenkgrube bildet, und steht durch das linsenförmige Bein c des Silvius an

dem Ende der einen Wurzel 4 mit dem Steigbügel s in Verbindung, indem dieses Bein in einer Vertiefung 5 am Obertheil des Bügels liegt, während die zweite kürzere Wurzel 6 frei endigt. Die Fußplatte 8 des Steigbügels schließt eine längliche Oeffnung, die das eirunde oder ovale Fenster heißt, in der Hinterwand der Trommelhöhle vorhanden ist und in eine zweite Höhle, den sogenannten Vorhof, führt. Diese Fußplatte ist mit dem ovalen Fenster durch die das Innere der Trommelhöhle auskleidende Schleimhaut so verbunden, daß sie sich aus dem besagten Fenster heraus und etwas in die Trommelhöhle hinein bewegen kann. Dem ovalen Fenster zur Seite befindet sich im Hintergrunde der Trommelhöhle überdies eine zweite Oeffnung, das runde Fenster genannt (dieses Fenster ist in der Figur nicht sichtbar, indem es unterhalb des Steigbügels nach rückwärts liegt), welche mit einem feinen Häutchen überspannt ist. Dieses trennt die Trommelhöhle von einem knöchernen, spiralförmigen, $2\frac{1}{2}$ Windungen bildenden Kanal k, der die Schnecke heißt und von einer Scheidewand r in zwei übereinander liegende Gänge, die Treppen, getheilt wird, wovon der untere unmittelbar hinter dem runden Fenster und der obere im Vorhofe an dem ovalen Fenster seinen Anfang nimmt. Aus dem Vorhofe gehen auch drei etwas ungleich große Bogengänge d, e, f, die halbzirkelförmigen Kanäle genannt, aus und kehren wieder dahin zurück. Der Vorhof, die halbzirkelförmigen Kanäle und die Schnecke machen zusammen das Labyrinth aus, liegen in der festesten Masse des Schläfeknochens eingeschlossen, sind mit einer dünnen, weißlichen Haut ausgefüttert und mit einer wässerigen Flüssigkeit, dem Labyrinthwasser, angefüllt, in welcher sich unzählige fadenförmige Ausläufer eines Nerven ausbreiten, welcher Gehörnerv heißt und dessen stärkerer Ast durch n zum Gehirn, dem Centralpunkt aller Empfindungen, geht.

Die Functionen der beschriebenen Theile des menschlichen Gehörorgans sind nun höchst wahrscheinlich folgende. Die Ohrmuschel nimmt die Schallwellen auf und führt sie durch den Gehörgang dem Trommelfelle zu, dieses empfängt in Folge der in der Richtung der Schallfortpflanzung Statt findenden Schwingungen (Hin- und Hergänge) der Schallmitteltheilchen Impulse (Stöße), diese Impulse werden durch die Luft in der Trommelhöhle und das daselbst vorhandene, aus den Gehörknöchelchen gebildete Hebelwerk zum Labyrinthe fortgepflanzt, von der in dem Labyrinthe enthaltenen Flüssigkeit den in ihr schwimmenden Ausläufern des Gehörnerven mitgetheilt und durch diese Einwirkung auf den Gehörnerv wird das Hören verursacht. Eigene Muskeln, womit die Gehörknöchelchen versehen sind, dienen dazu, dem Trommelfelle und dem Knöchelchensysteme mehr oder weniger Spannung zu geben, um so einerseits die Wahrnehmung auch ganz schwacher, das Trommelfell treffender Impulse möglich zu machen, anderseits aber das Ohr gegen die nachtheilige Wirkung zu starker äußerer Impulse zu schützen. Ist durch den inneren Hammermuskel, den Spanner, das Trommelfell einwärts gezogen und hiedurch gespannt, und zugleich durch den Steigbügelmuskel die Fußplatte des Steigbügels an das eirunde Fenster angedrückt, so gelangen (aus Gründen, die der folgende Absatz unter: **Ad 2** bei (†) S. 327 und (††) S. 330 angibt) die Impulse vom Trommelfelle — sowohl wegen größerer Spannung dieses letzteren, als auch weil sie nicht nur durch die Luft in der Trommelhöhle, sondern auch durch ununterbrochen aneinander gereihte feste Körper, also durch ein dichteres gleichartiges Mittel bis zur Flüssigkeit im Labyrinthe fortgepflanzt werden — ungeschwächter und intensiver zum Gehörnerv und können, wenn sie auch ursprünglich schwach waren, dennoch eine Schallempfindung hervorrufen. Ist hingegen durch die beiden äußeren Hammermuskel, die Erschlaffer des Trommelfelles, dieses nach außen gedrückt und erschlafft, dadurch zugleich die Fußplatte des Steigbügels vom ovalen Fenster zurückgezogen, so wird die Schallwelle bei ihrer Fortpflanzung zum Labyrinthe nicht nur durch die Schlaffheit des Trommelfelles, sondern auch dadurch bedeutend

geschwächt, daß die Gehörknöchelchen mit dem Labyrinthe jetzt keinen ununterbrochenen, festen Schallleiter, kein gleichartiges Schallmittel mehr bilden, und man kann so einen beim Ohr anlangenden, selbst sehr starken Schall ohne Nachtheil vernehmen.

Das Wesentlichste des Gehörorgans ist der Gehörnerv und die Labyrinthflüssigkeit; denn das Trommelfell kann zerrissen und die drei vordern Gehörknöchelchen können (etwa in Folge einer Krankheit) zerstört sein und fehlen, ohne daß deshalb das Hörvermögen ganz aufgehoben ist, wofern nur die das runde Fenster verschließende Haut unverletzt geblieben und die Fußplatte des Steigbügels am eirunden Fenster noch festsitzt. Wird aber diese Haut zerrissen oder die Fußplatte des Steigbügels vom eirunden Fenster losgetrennt, so daß die Flüssigkeit aus dem Labyrinthe ausfließt, die Ausläufer des Gehörnervenbündels also bloß und trocken gelegt werden, so erfolgt völlige Taubheit.

163. Stärke des Schalles. Schallempfindungen müssen, abgesehen von der Empfindlichkeit des Gehörorgans, offenbar desto intensiver hervortreten, je stärker die sie erzeugenden Stöße oder Impulse auf dieses Organ sind, und je schneller diese Stöße auf einander folgen (je weniger dem Ohre also Zeit gegönnt wird, sich von den vorhergegangenen Stößen zu erholen). Die Stärke des Schalles hängt demnach ab: 1. von der Beschaffenheit und Bewegung des Schallerregers; 2. von der Natur des Schallmittels und 3. von der Lage des Hörenden gegen den schallenden Körper.

Ad 1. Je mehr Theile des Schallerregers zugleich auf das Schallmittel einwirken... (a), je schneller diese Einwirkungen nach einander folgen (je schneller die Schallerreger schwingen)... (b) und je größere Excursionen dabei die Theile des Schallerregers machen... (c), desto größer wird die Abweichung des verdichteten und verdünnten Theiles der Schallwelle vom natürlichen Dichtigkeitszustande des Schallmittels ausfallen und desto intensiver werden daher die Impulse sein, welche die Theilchen dieses Mittels auf das Ohr üben. Aus dem Punkte (a) erklärt sich, warum eine lange und dicke (mehr Luft verdrängende Peitsche) stärker knallt, als eine kurze und dünne; man sieht ein, daß eine Kanone wegen größerer Pulverladung einen heftigeren Knall geben müsse, als eine Flinte oder Pistole, und warum dicke Saiten so starke Töne geben. Aus (b) begreift man die bekannte Ausgiebigkeit hoher (durch schnell auf einander folgende Schwingungen des Tonerregers erzeugter) Töne und aus (c), warum bei Saiteninstrumenten die Töne desto intensiver sind, je mehr man durch stärkeres Aufdrücken mit dem Bogen oder dadurch, daß man denselben mittelst Kolophonium rauher macht, ferner durch stärkeres Greifen oder Schlagen der Saiten (z. B. bei der Harfe, dem Piano-Forte u. s. w.) die Saiten aus ihrer natürlichen Lage bringt.

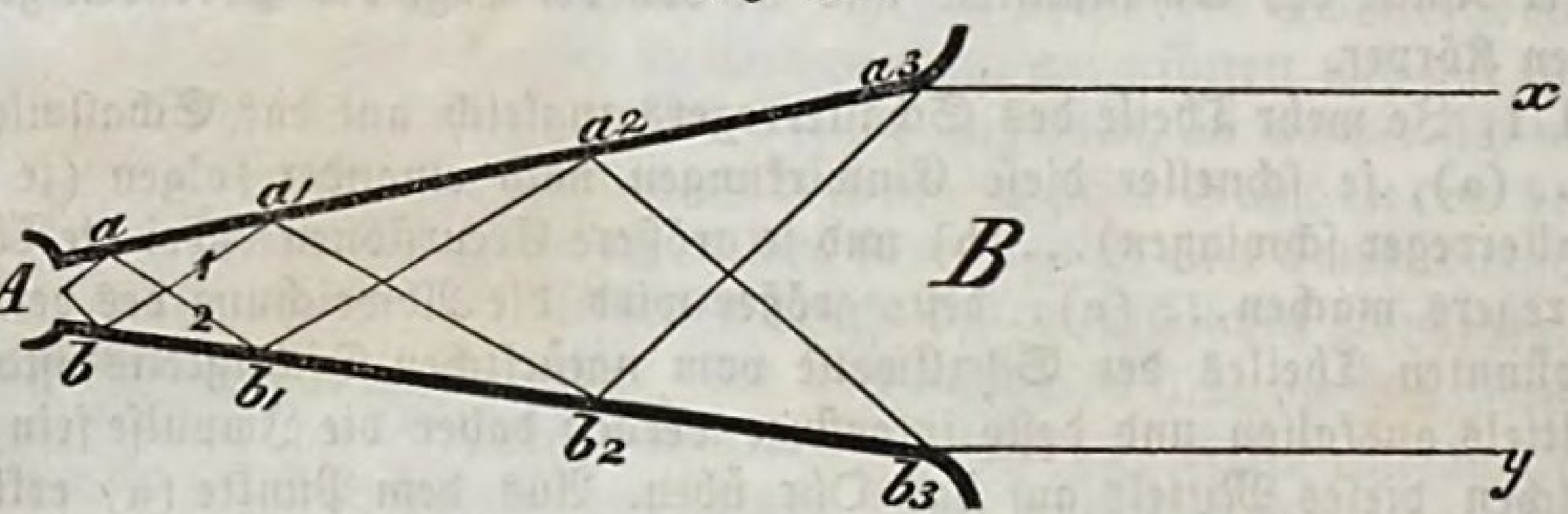
Ad 2. Je dichter das Schallmittel ursprünglich ist und je weniger es den Stößen des Schallerregers ausweichen kann (eine je geringere specifische Expansivkraft es besitzt), desto größer wird unter sonst gleichen Umständen die Dichte des verdichteten Theiles der beim Ohre anlangenden Schallwelle und desto beträchtlicher wird der Dichtigkeitsunterschied zwischen diesem und dem verdünnten Theile der Welle sein, desto intensiver werden daher die Impulse auf das Ohr und desto stärker wird somit der Schall ausfallen... (†). Hieraus erklärt sich die geringe Stärke des Schalles in verdünnter Luft, z. B. unter dem Recipienten einer Luftpumpe oder auf hohen Bergen; warum man bei kaltem Wetter (wo die Luft dichter ist) einen Schall stärker und somit weiter hört als bei warmen; warum feste Körper den Schall intensiver fortpflanzen als die Luft. Geht die Fortpflanzung des Schalles so vor sich, daß, wie z. B. in einer cylindrischen Luftsäule oder in einem prismatischen Stabe von gleichförmiger Dichte, die der Fortpflanzung zu Grunde liegende Bewegung der Theilchen des Mittels immer von einer Schichte auf eine nächste von gleicher Masse

übertragen wird; so pflanzt sich diese Bewegung und mithin der Schall auf sehr große Distanzen mit ungeschwächter Intensität fort. Darauf beruht die Wirkung des Communicationsrohres und des Sprachrohres.

Das Communicationsrohr ist eine beliebig lange, cylindrische, ½—2 Zoll und darüber weite Röhre, meistens aus Blech, in welcher die Luft einen an dem einen Ende angeregten Schall so ungeschwächt fortleitet, daß man ihn am andern noch so weit entfernten Ende eben so gut hört, als wäre er ganz nahe am Ohre erregt worden. Man macht vielfach sehr vortheilhaften Gebrauch von den Communicationsröhren. So erhält z. B. der Wächter im Mastkorbe auf Schiffen durch eine aus der Kajüte des Kapitäns am Mastbaume emporsteigende Röhre Befehle und theilt auf dem nämlichen Wege zurück Nachrichten mit. In großen Fabriken erhalten die Arbeiter in den verschiedenen, zum Theil weit entlegenen Zimmern und andern Lokalitäten durch blecherne, an den Mauern fortlaufende oder in dieselben versenkte Röhren von dem Zimmer des Fabriksleiters aus ihre Instruktionen und stellen dahin Fragen. Eine in dem Wagenkasten verborgene, im Innern des Wagens nahe am Sitze beginnende und hinter dem Rücken des Kutschers ausmündende Communicationsröhre gestattet eine leichte Verständigung mit diesem. Kamine und Schornsteine können als Communicationsröhren dienen, und die noch engern Schläuche für Luft- oder Dampfheizung pflanzen leicht den Schall zu den entferntesten Gemächern der ausgedehntesten Gebäude fort, weßwegen man diese Schläuche in Gefängnissen, Correctionshäusern ꝛc. vermeiden muß, weil ihre Mündungen in die einzelnen Zimmer eine Communication mit andern, selbst den entferntesten, zulassen.

Das Sprachrohr, durch AB (Fig. 302) im Längendurchschnitte dargestellt, ist eine konische, meistens nach Art einer Trompete beiderseits etwas erweiterte Röhre, in welcher die

Fig. 302.

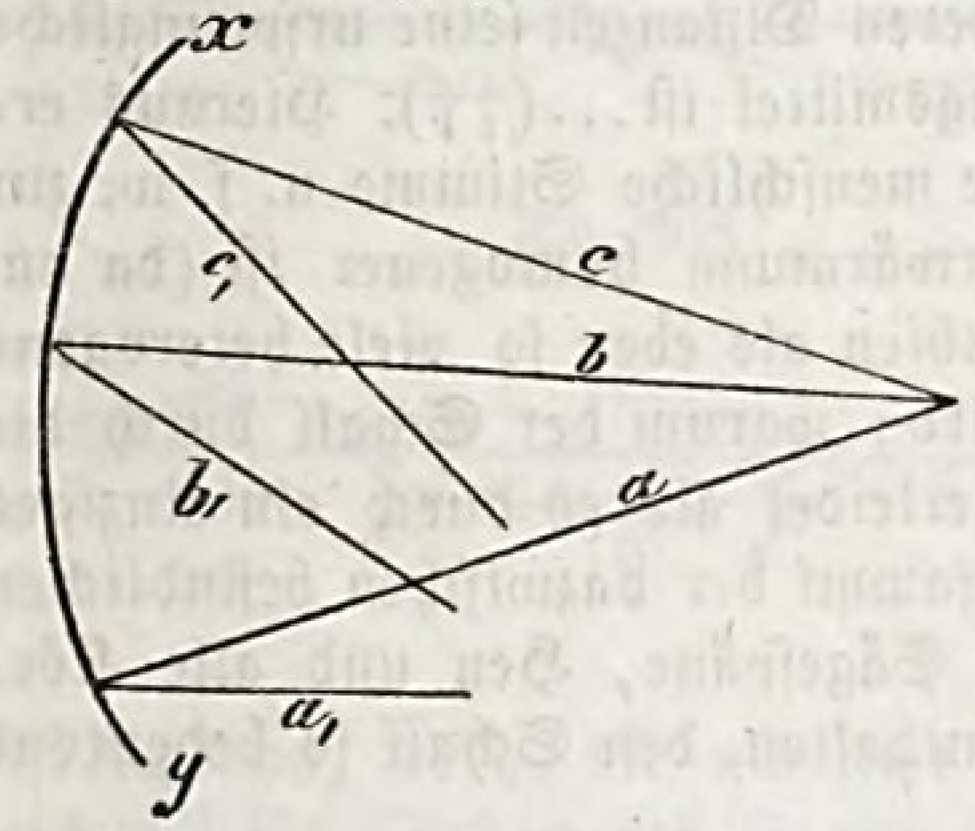


von dem Munde des Sprechenden am engeren Ende A ausgehenden Schallstrahlen 1, 2 ꝛc. von den glatten Wänden bei a, a_1, a_2, a_3 und b, b_1, b_2, b_3 wiederholt reflectirt werden, bis sie unter einander parallel (zu einem Cylinder a_3 xy b_3 gestaltet) austreten, so daß dann der Schall wie in einer cylindrischen Röhre unter Uebertragung der Bewegung von Schichte auf Schichte gleicher Masse zu beträchtlicher Entfernung fast ungeschwächt fortgepflanzt wird. Der Theorie und Erfahrung gemäß kann ein Sprachrohr, damit es möglichst gute Dienste leiste, nicht füglich zu lang sein, und es hängt seine Wirkung von einem richtigen Verhältnisse zwischen den Durchmessern beider Oeffnungen und der Länge ab. Bei einer Länge von 4—6 Fuß macht man diese Durchmesser gewöhnlich 2 und 6—12 Zoll groß.

Bei nach allen Seiten hin Statt findender Fortpflanzung des Schalles, z. B. in freier Luft, wo die Wellen sich kugelförmig immer mehr erweitern, wird die dieser Fortpflanzung zu Grunde liegende Bewegung immer auf eine größere kugelförmige Schichte des Mittels, also auf eine größere Masse übertragen, muß daher im Verhältnisse dieser Masse abnehmen. Da letztere mit der Kugelfläche der sich immer mehr erweiternden Welle wächst, diese Kugelfläche aber dem Quadrate ihres Halbmessers, der ihre Entfernung vom Entstehungs- oder Ausgangspunkte des Schalles vorstellt, proportional ist; so folgt, daß die den Schall fortpflanzende Hin- und Herbewegung der Theilchen des Mittels, mithin das Vermögen dieses letztern, Impulse auf das Ohr zu üben, und daher die Stärke des Schalles im quadratischen Verhältnisse der Zunahme der Distanz der Fortpflanzung abnehmen müsse. In freier Luft wird daher (rings um den Schallerreger) ein Schall desto schwächer vernommen, je weiter das Ohr von der Schallquelle entfernt ist, und wenn diese Entfernung eine gewisse Grenze überschreitet, kann wegen zu geringer Intensität der Welle (der Bewegung der Theilchen des Mittels) der Schall gar nicht mehr wahrgenommen werden.

Wird endlich bei der Schallfortpflanzung die Bewegung der Theilchen des Schallmittels immer von einer größeren auf eine kleinere Masse übertragen, so muß die Intensität dieser Bewegung, mithin auch die (durch die Stärke der Impulse dieser Theilchen auf das Gehörorgan bedingte) Intensität des Schalles stets zunehmen. Dies ist z. B. der Fall, wenn die Schallwelle in einer allmälig sich verengenden Röhre vom weiteren Ende gegen das engere hin fortschreitet...(I) (weil da die Massen der nach einander folgenden Luftschichten in dem Maße kleiner werden, als die Weite der Röhre abnimmt), oder wenn die Welle von einer concaven Fläche, wie xy (Fig. 303), reflectirt wird, wo dem vorne S. 323 unter (110) aufgestellten Gesetze zu Folge die Schallstrahlen a, b, c nach der Reflexion convergente Richtungen a_1, b_1, c_1 erhalten, und daher zwischen je zwei reflectirten Strahlen, so wie in der vorher erwähnten, sich verengenden Röhre die Bewegung der Theilchen des Mittels immer auf Schichten von geringerer Masse fortgepflanzt, d. h. die Schallwelle stets in einen kleineren Raum zusammengedrängt (concentrirt), also in ihrer Wirkung auf das Ohr verstärkt wird ... (II)

Fig. 303.

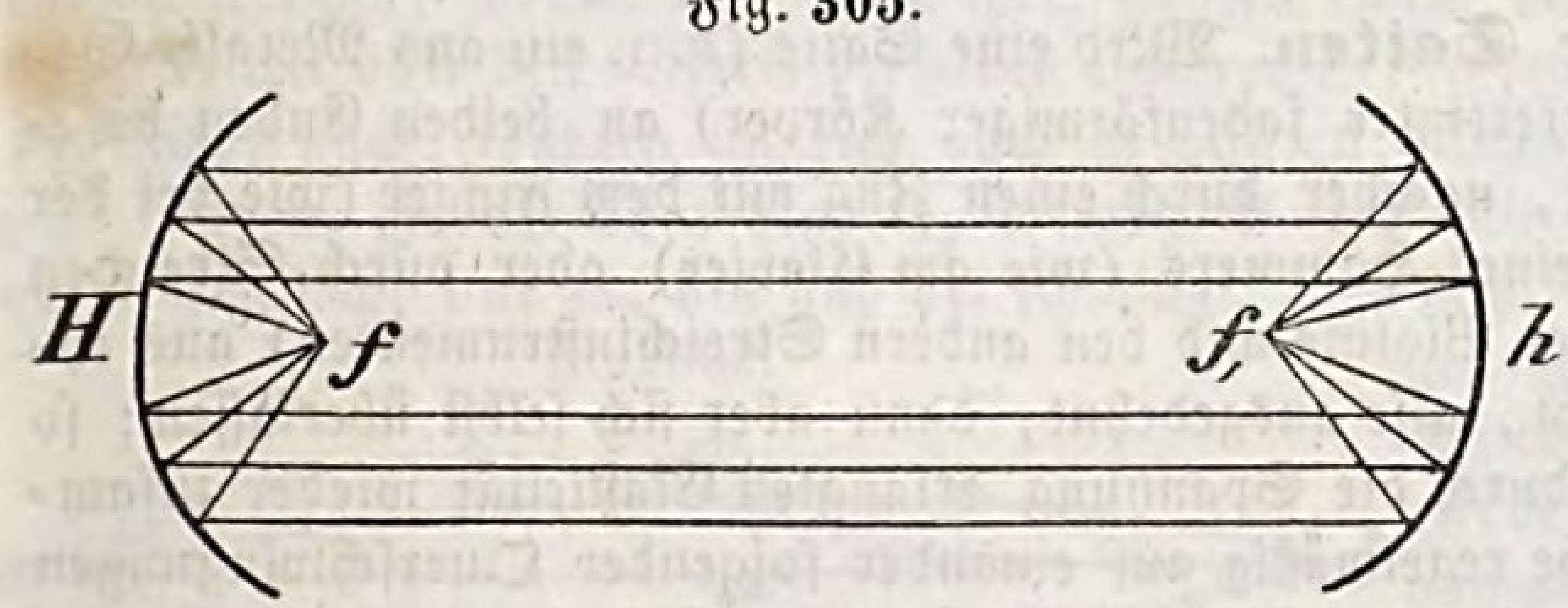


Auf (I) gründet sich die Anwendung des Hörrohres, d. i. (meistens) eine mehr oder weniger trichterförmige, kurze und gebogene Röhre (Fig. 304), welche, indem ihr engeres Ende a in den Gehörgang gebracht wird, die am weitern Ende eintretende Schallwelle in concentrirtem Zustande dem Ohre zuführt und so einen mäßig starken Schall auch schwer Hörenden vernehmbar macht. Aus (II) erklärt sich, warum man in mit Nischen versehenen Gemächern oder Sälen einen Schall an einer Stelle zunächst vor diesen Nischen am intensivsten hört; warum Jemand, der seinen Mund im Brennpunkte f (Fig. 305) eines parabolischen (oder sphärischen) Hohlspiegels H hält und ganz leise gegen letztern hin spricht, von einer andern Person, deren Ohr sich im Brennpunkte f_1 eines zweiten solchen, dem ersten selbst in großer Entfernung gegenübergestellten Hohlspiegels h befindet, deutlich vernommen wird, während eine dritte, zwischen f und f_1 befindliche und dem Sprechenden ganz nahe stehende Person nichts wahrnimmt. Die vom Munde in f divergent ausgehenden Schallstrahlen werden nämlich durch Reflexion von H dem Spiegel h zugesendet und von diesem wieder so zurückgeworfen, daß sie sich genau (oder nahe) in seinem Brennpunkte f_1, mithin im Ohre des Hörenden concentriren. Daß die Reflexion der Schallstrahlen von den besagten Spiegeln in der eben angegebenen Art Statt finden müsse, wird in der Lehre vom Lichte klar werden. Es wird nämlich dort der Beweis geführt werden, daß die (mit den Schallstrahlen ganz gleiche Reflexionsgesetze beobachtenden) Lichtstrahlen, wenn sie vom Brennpunkte eines parabolischen (oder sphärischen) Hohlspiegels ausgehen, von diesem parallel (oder nahe parallel) zurückgeworfen und wenn sie so auf den Hohlspiegel fallen, durch Reflexion genau (oder nahe) in seinem Brennpunkte vereinigt werden. Daß in Zimmern, Sälen u. s. w. einander gegenüber angebrachte, abgerundete Nischen oder Wölbungen näherungsweise die Stelle der Spiegel vertreten können und man daher das, was vor einer solchen Nische ganz leise gesprochen wird, vor der gegenüberstehenden Nische oder Wölbung noch deutlich wahrzunehmen vermag, leuchtet nun von selbst ein. Man hat daher in Sälen, die für Vorträge oder musikalische Produktionen bestimmt sind, mit Anbringung aller Arten von Wölbungen vorsichtig zu sein, weil sonst an gewissen Stellen solcher Lokalitäten leicht eine Concentrirung der Schallwellen, also eine Verstärkung des Schalles bewirkt wird, welche den Zuhörern besonders dann sehr unangenehm sein muß, wenn die Vereinigung der verschie-

Fig. 304.



Fig. 305.



denen reflectirten Wellen durch diese Wölbungen nicht gleichzeitig geschieht, indem dann ein unverständliches Wort- oder Tongewirre nothwendige Folge ist. Bei einer elliptisch gekrümmten Wölbung werden alle von dem einen Brennpunkte der Ellipse ausgehenden Schallstrahlen durch Reflexion in deren zweitem Brennpunkte concentrirt.

Da, wie vorne S. 322 gezeigt worden, die Bewegung, welche die Fortpflanzung des Schalles in einem Mittel bewirkt, beim Eintritte der Welle in ein anderes Mittel immer nur zum Theil in dieses Mittel übergeht, also an Größe abnimmt; so muß der Schall unter übrigens gleichen Umständen desto schwächer werden und schon in desto geringerer Entfernung von seinem Ursprunge aufhören, vernehmbar zu sein, je öfter die Schallwelle das Mittel zu wechseln genöthigt ist, und umgekehrt muß der Schall desto mehr und zu größeren Distanzen seine ursprüngliche Stärke behalten, je gleichartiger das Fortpflanzungsmittel ist...(††). Hieraus erklärt sich: warum das Geläute einer Glocke, die menschliche Stimme u. s. w. zur Nachtzeit, wo die Luft wegen gleichförmiger Erwärmung homogener ist (da am Tage schattige und von der Sonne beschienene Partien als eben so viele heterogene Mittel abwechseln), stärker und weiter gehört wird; warum der Schall durch die zwei Breter einer Doppelthüre mehr Schwächung erleidet als es durch ein einziges Bret der Fall wäre, das an Dicke jenen beiden sammt der dazwischen befindlichen Luftschichte gleichkömmt; warum Wolle, Moos, Sägespäne, Heu und alle Körper, die viele mit Luft erfüllte Zwischenräume enthalten, den Schall so bedeutend schwächen u. s. w.

Ad 3. Ist das Schallmittel rings um den Schallerreger von gleicher Beschaffenheit und wirkt dieser nach allen Seiten hin gleichzeitig und in gleichem Grade auf dasselbe ein, wie dies z. B. eine angezündete Knallgasblase in freier Luft thut; so wird der Schall rings um den Erreger in gleichen Entfernungen auch in gleicher Stärke wahrgenommen. Erfährt aber das Schallmittel von dem schallenden Körper nach verschiedenen Richtungen eine ungleich starke Einwirkung; so hört man in gleichen Distanzen nach der Richtung der stärkeren Einwirkung auch den Schall stärker. So vernimmt man die Stimme eines Sprechenden, den Knall eines Geschützes u. s. w., stets in der Richtung am stärksten, nach welcher hin gesprochen oder das Geschütz abgefeuert wird, weil in dieser Richtung durch die aus dem Munde kommende Luft und die aus dem Geschütze mit Gewalt hervortretenden Gase die äußere atmosphärische Luft am meisten erschüttert wird.

164. Tönen der Saiten. Wird eine Saite (d. i. ein aus Metall, Gedärmen, Seide u. dgl. verfertigter fadenförmiger Körper) an beiden Enden befestigt, hinreichend gespannt, nachher durch einen Zug mit dem Finger (wie bei der Harfe), durch Anschlagen eines Hammers (wie am Clavier) oder durch Streichen mit dem Bogen (wie auf der Violine und den andern Streichinstrumenten) aus ihrer Ruhelage herausgebracht, also ausgedehnt, dann aber sich selbst überlassen; so zieht sie sich in Folge ihrer durch die Spannung erlangten Elasticität wieder zusammen, kehrt durch eine Reihe regelmäßig auf einander folgender Querschwingungen (transversaler Schwingungen) von allmälig abnehmender Schwingungsweite in die Ruhelage zurück und erzeugt so einen Ton, dessen Höhe abhängt von der Länge und Dicke der Saite, von der Größe der Spannung, die man ihr gegeben, und von der Dichte des Materials, woraus sie besteht *). Dabei schwingt sie entweder als

*) Bei manchen Saiteninstrumenten, wie bei der Harfe und beim Pianoforte, sind so viele Saiten von verschiedener Dicke und Spannung und von ungleicher, aber unveränderlicher Länge vorhanden, als verschieden hohe Töne hervorgebracht werden sollen. Bei den Streichinstrumenten und bei der Guitarre, der Zither u. a. hingegen werden die verschiedenen Töne nur wenigen Saiten von ungleicher, aber constanter Spannung und Dicke entlockt, indem man sie mit den Fingern auf das sogenannte Griffbret niederdrückt und so ihre Länge entsprechend abändert (da dann nur immer das zwischen dem Finger und dem Stege enthaltene Stück zu schwingen und zu tönen vermag).

Ganzes und nimmt dann bei den größten Excursionen aus ihrer Ruhelage ab (Fig. 306) die Gestalt adb und acb an, oder sie theilt sich in aliquote gleiche Theile ihrer Länge ab, deren jeder dann für sich und mit den angrenzenden Theilen gleichzeitig im entgegengesetzten Sinne schwingt, so daß bei einer Abtheilung in zwei oder drei Theile die Saite in der einen Hälfte der Schwingungszeit die Gestalt acoeb (Fig. 307) und acdefgb (Fig. 308), in der zweiten Hälfte hingegen die punktirten Gestalten annimmt, während die Theilungspunkte (o, d, f) an der besagten Bewegung keinen Antheil nehmen, sondern in Ruhe bleiben, und deswegen Schwingungsknoten heißen. Der Ton einer in Abtheilungen schwingenden Saite hat die der Länge einer Abtheilung entsprechende, d. h. die nämliche Höhe, als wäre die ganze Saite, bei übrigens gleicher Beschaffenheit und Spannung wie vorher, nur so lang wie eine Abtheilung, schwänge aber in der ganzen Länge. Man kann eine Saite leicht zum Schwingen in Abtheilungen, z. B. in Dritteln oder in Vierteln, bringen, wenn man sich dieselbe in drei oder vier gleiche Theile getheilt denkt, sie in dem, einem ihrer Enden zunächst gelegenen Theilpunkte mit dem Finger leise berührt und das eine oder das andere Stück, am besten in seiner Mitte, mit einem Bogen streicht. Wurden auf verschiedene Punkte der Saite, auch auf die besagten Theilpunkte, schmale, winkelartig zusammengebogene Papierstreifchen gleichsam wie Reiter aufgesetzt, so werden diese beim Tönen der Saite alle herabgeworfen, mit Ausnahme der auf die Theilpunkte gesetzten, die unbeweglich an ihrem Platze bleiben, zum Beweise, daß diese Punkte selbst nicht in Bewegung sind. Da man einer Saite, besonders einer etwas längeren, durch Streichen mit einem Violinbogen gleichzeitig verschiedentlich hohe Töne entlocken kann, wovon der tiefste ihrer ganzen Länge und die höheren der Hälfte, dem Drittel oder dem Viertel derselben entsprechen; so muß sie nicht blos ihrer ganzen Länge nach, sondern zugleich auch in Hälften, Dritteln oder Vierteln schwingen können. In der That hindert, wenn z. B. die Mitte m (Fig. 309) der Saite ab zwischen m_1 und m_2 hin und her schwingt, dies nicht das gleichzeitige Schwingen jeder Hälfte so als ob die Mitte befestigt wäre; dasselbe gilt bezüglich der andern Schwingungsknoten, wenn die Saite in Dritteln, Vierteln ꝛc. schwingt.

Fig. 306.

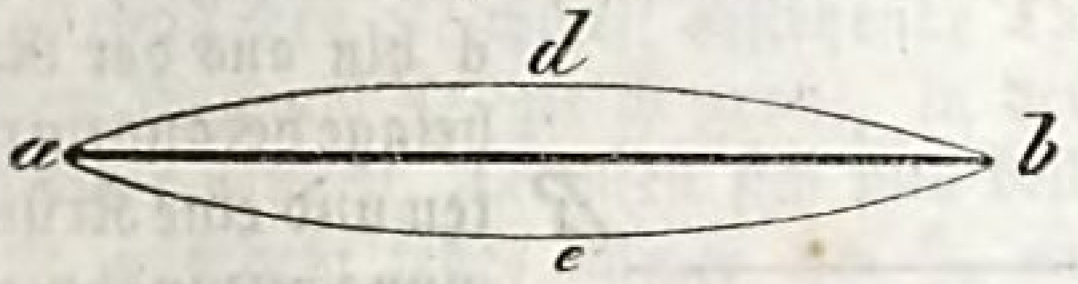


Fig. 307.

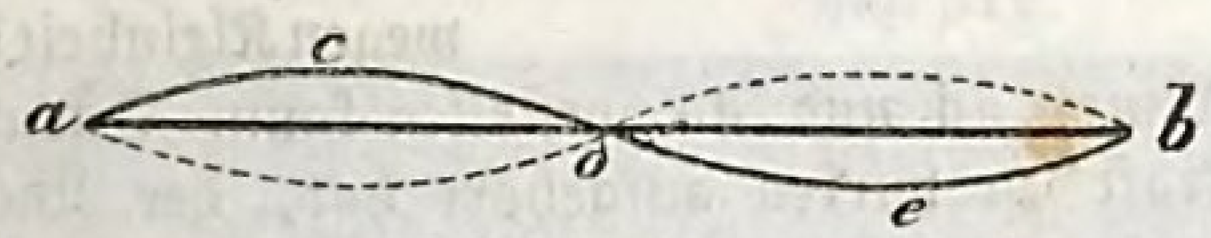


Fig. 308.

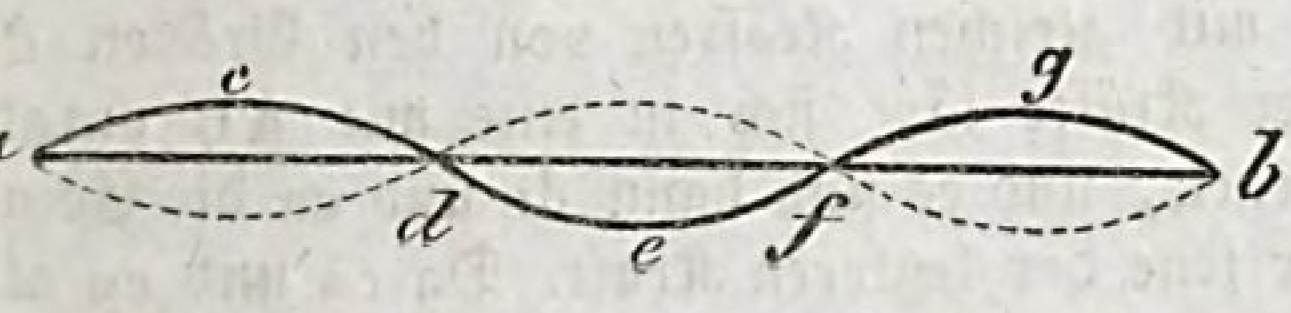
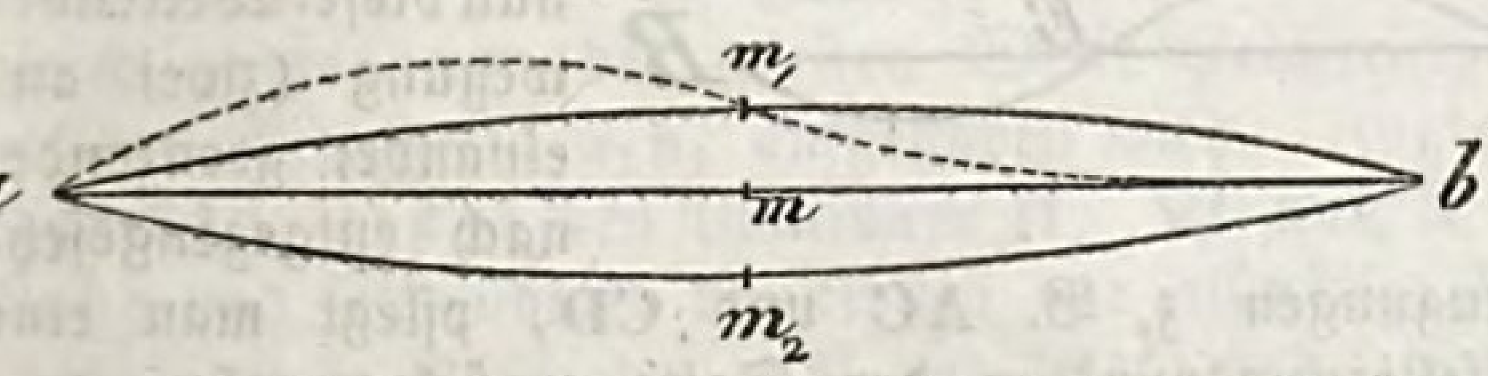


Fig. 309.



Aus der eben besprochenen Schwingungsweise der Saiten erklärt sich die Wirkung der Aeolsharfe, d. i. ein hohler Kasten aus elastischem Holze (Resonanzkasten), auf welchem mehrere tief- und gleichgestimmte Saiten neben einander gespannt sind, die, einem Luftzuge ausgesetzt, in den mannigfaltigsten Tonhöhen und Akkorden erklingen. Die, diesen verschiedenen Tonhöhen zu Grunde liegende Unterabtheilung der Saiten in verschiedene aliquote Theile ihrer Längen, werden dadurch bewirkt, daß die bewegte Luft die Saiten an verschiedenen Punkten und zu verschiedenen Zeitmomenten mit ungleicher Intensität trifft, was ein Zurückbleiben einzelner dieser Punkte hinter den andern zur Folge hat und bezüglich einer Abtheilung der Saite gerade dieselbe Wirkung haben muß, wie wenn die ersteren Punkte (wie oben durch leise Berührung mit dem Finger) in Ruhe gehalten und die letzteren durch geringere Luftstöße in Bewegung gesetzt würden.

165. Stehende Schwingungen. Wie es bei einer Saite zu der eben besprochenen Unterabtheilung und Bildung von Schwingungsknoten komme, wird

aus nachstehender Betrachtung klar werden. Ist AB (Fig. 310) eine ruhende, gespannte Saite, und erhält sie nach einer auf ihrer Länge senkrechten Richtung bei c einen Stoß oder raschen Zug, so wird dieser ein Stück ae derselben nöthigen, nach d hin aus der Ruhelage herauszutreten und eine Krümmung anzunehmen, deren Hälften man wegen Kleinheit des Krümmungsbogens durch die geraden Linien ad und de vorstellen kann. Offenbar muß, nachdem die Stoß- oder Ziehkraft zu wirken aufgehört hat, der Punkt d durch die Elasticität der Saite (d. i. die Kraft, womit die Theilchen des ausgedehnten Saitenstückes ae wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückzukehren suchen) zugleich nach a und nach e mit gleichen Kräften von den Größen da und de gezogen werden. Jede dieser Kräfte läßt sich in eine mit AB parallele und in eine darauf senkrechte zerlegen, und es sind dann dc und ca die Componenten der ersteren, dc und ce aber jene der letzteren Kraft. Da ca und ce als entgegengesetzte gleiche Kräfte sich aufheben, so bleibt nur die doppelte Kraft dc übrig und diese führt das Saitenstück ade nicht nur in die Lage ace zurück, sondern noch über dieselbe hinaus, so daß es eine der vorigen entgegengesetzte Krümmung afe annimmt, aus dieser Position dann wieder in die Position ade übergeht und endlich nach einer Reihe solcher Hin- und Hergänge in die Ruhelage ace zurückkehrt. Da aber wegen der Spannung der Saite sich keiner ihrer Theile bewegen kann ohne den benachbarten mit in Bewegung zu versetzen, so wird durch die Ausbeugung des Saitenstückes ace nach ade auch e zur Bewegung bestimmt und muß offenbar in Folge der besagten Spannung mit derselben Kraft nach d und nach g hin gezogen werden. Da man die nach d ziehende Kraft in die Componente ei und die darauf senkrechte em, ferner die Zugkraft nach g in die Componente en und die darauf senkrechte em zerlegen kann, ei und en sich wieder aufheben, und nur die doppelte, nach em ziehende Kraft übrig bleibt; so muß das Saitenstück ceg die Ausbeugung cmg erfahren, diese muß in die entgegengesetzte cog übergehen, dann wieder gegen cmg zurückführen u. s. f. Was vom Punkte e gezeigt worden, gilt ganz so vom Punkte g u. s. w. bis B hin und andererseits in gleicher Weise von den Punkten a bis A; es müssen somit die Ausbeugungen des Saitenstückes ae bis zu beiden Befestigungspunkten A, B fortrücken, so daß die Saite nach Art der Fig. 311 sich allmälig schlangenförmig krümmt. Indem nun diese Wellenbewegung (zwei aneinander grenzende, nach entgegengesetzten Richtungen gehende Ausbeugungen z. B. AC und CD, pflegt man eine Welle zu nennen) von den Befestigungspunkten der Saite zurückgeworfen (reflectirt) wird und die reflectirten Wellen den diesen Punkten zuschreitenden (directen) Wellen begegnen, entstehen die vorbesagten Schwingungsknoten. Um dies einzusehen, sei in Figur 312 $aa_1a_2a_3a_4$ die Ruhelage eines Stückes einer Saite, die ausgezogene Schlangenlinie $abb_1b_2b_3a_4$ stelle das eine der beiden sich begegnenden Wellensysteme, z. B. das directe und die punktirte Schlangenlinie $abb_1b_2b_3a_4$ das andere, nämlich das reflectirte vor. Ersteres, von dem vorausgesetzt wird, daß man es durch sich regelmäßig folgende Impulse auf die Saite unterhalte, soll nach a hin und letzteres nach entgegengesetzter Richtung, also gegen a_4 in Bewegung sein; beide wollen wir von dem Augenblicke an zu betrachten

Fig. 310.

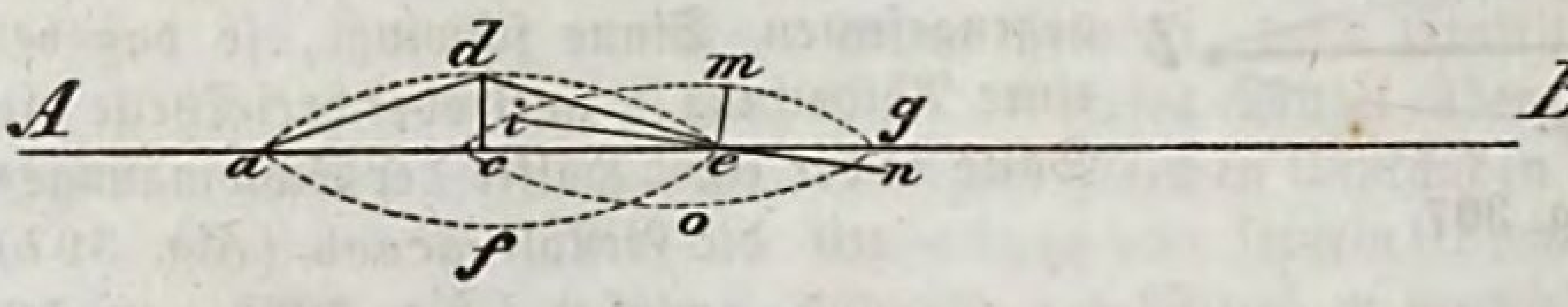
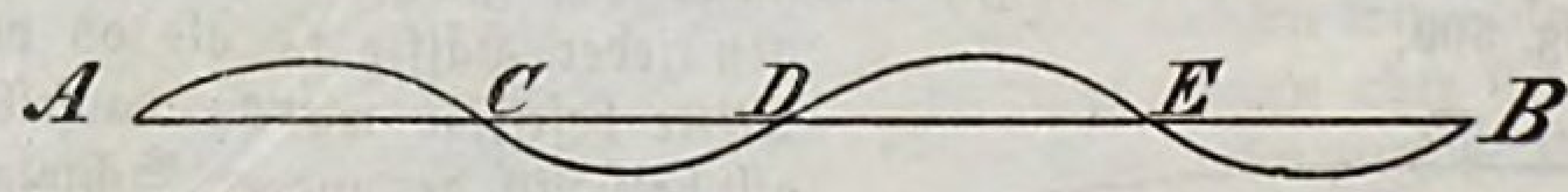
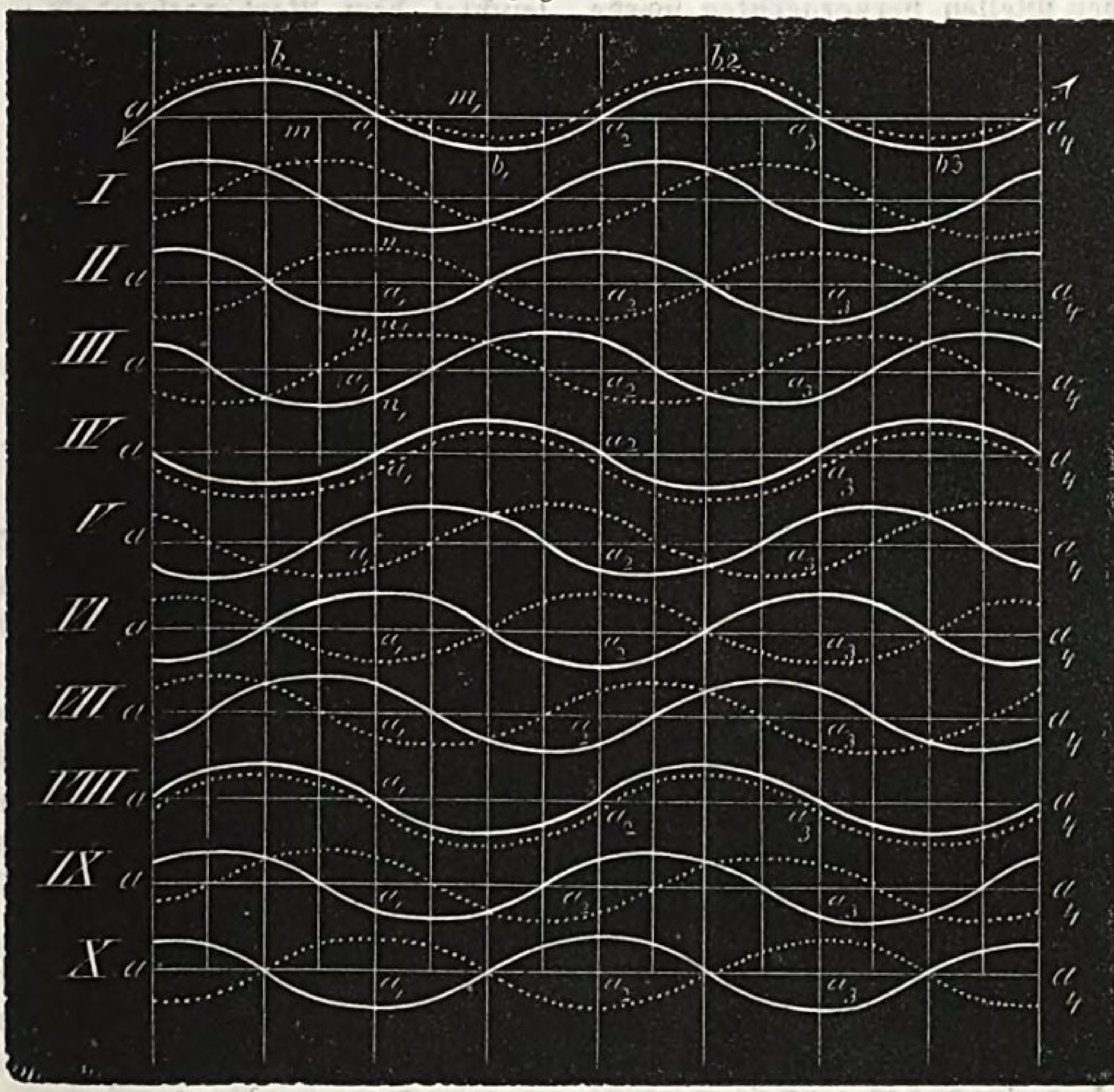


Fig. 311.



beginnen, wo sie gerade zusammenfallen, und in beiden sollen die Wellenhälften, die Ausbeugungen nach der einen und nach entgegengesetzter Seite, eine ganz übereinstimmende Form haben, so daß je zwei von einem der Grenzpunkte a_1, a_2, a_3... der Wellenhälften gleichweit abstehende Theilchen, z. B. m und m_1 der Saite in dem nämlichen Augenblicke gleich große, in der Richtung aber entgegengesetzte Bewegungszustände besitzen. Trennen sich nun beide Wellensysteme und man betrachtet sie dann z. B. nachdem jedes immer um $1/8$ einer Wellenlänge (d. i. $1/8$ von aa_2 oder a_2a_4 u. s. w.) weiter gegangen ist und sie sich in den bei **I** bis **X** (Fig. 312) anschaulich gemachten gegenseitigen Positionen befinden: so zeigt sich, daß bei diesem Weitergehen stets (wie man in eben besagten Positionen deutlich sieht) auf die Punkte a, a_1, a_2, a_3, a_4 von beiden Wellensystemen gleichzeitig gleich große und entgegengesetzte Bewegungen, die sich aufheben, übertragen werden, so daß diese Punkte daher immer in Ruhe bleiben müssen, also Schwingungsknoten sind, während alle andern Punkte der Saite sich in Bewegung (aus ihrer natürlichen Lage mehr oder weniger hinausgerückt) befinden. So muß z. B. der Punkt a_1 (**II** und **III**) in Ruhe bleiben, weil die Bewegung a_1n, die er vermöge der punktirten Welle annehmen sollte, durch die gleich große, von der zweiten Welle gleichzeitig auf ihn übertragene entgegengesetzte Bewegung a_1n_1 aufgehoben wird. Zugleich zeigt der bloße Anblick der Fig. 312, daß in den Positionen **II**, **VI** und **X** alle Theile der ganzen Saite in Ruhe und die anderen Positionen nur allmälige Uebergänge der Saite aus diesen Ruhelagen in Positionen (**IV** und **VIII**) sind, in welchen die auf die Theilchen der Saite von beiden Wellensystemen übertragenen Bewegungen sich summiren, die Ausbeugungen der Saite also am größten ausfallen, so daß in Folge der Begegnung und gegenseitigen Einwirkung (Interferenz) der directen und der reflectirten Wellen die ganze Bewegung der Saite endlich in einem gleichzeitigen Schwingen gleicher, durch Schwingungsknoten getrennter Theile um die Ruhelage herum besteht. Man nennt eine solche Schwingung, da sie auf gewisse Theile der Saite beschränkt und nicht mehr nach der Länge fortschreitend erscheint, eine stehende Schwingung, und nur wenn eine Saite sich in einer derartigen Schwingung befindet, d. h. wenn dieselbe in durch Schwingungsknoten getrennten Unterabtheilungen

Fig. 312.



oder auch in ihrer ganzen Länge um die Ruhelage herum schwingt, kann sie tönen, weil nur dann alle in Bewegung befindlichen Theile derselben gleichzeitig und regelmäßig einander folgende Impulse auf das sie umgebende Schallmittel und durch dieses auf das Ohr zu üben vermögen, was doch, wie wir aus Früherem wissen, Bedingung der Entstehung eines Tones ist... (A). (Daß bei stehender Schwingung einer Saite in Unterabtheilungen alle diese gleichzeitig eigene Schallwellen erzeugen, daß diese Wellen sich dann zu einer einzigen resultirenden Welle zusammensetzen und der Ton durch eine hinreichende Anzahl solcher am Ohre eintreffender, resultirender Wellen hervorgerufen werde, leuchtet dem Vorhergehenden zu Folge für sich ein.)

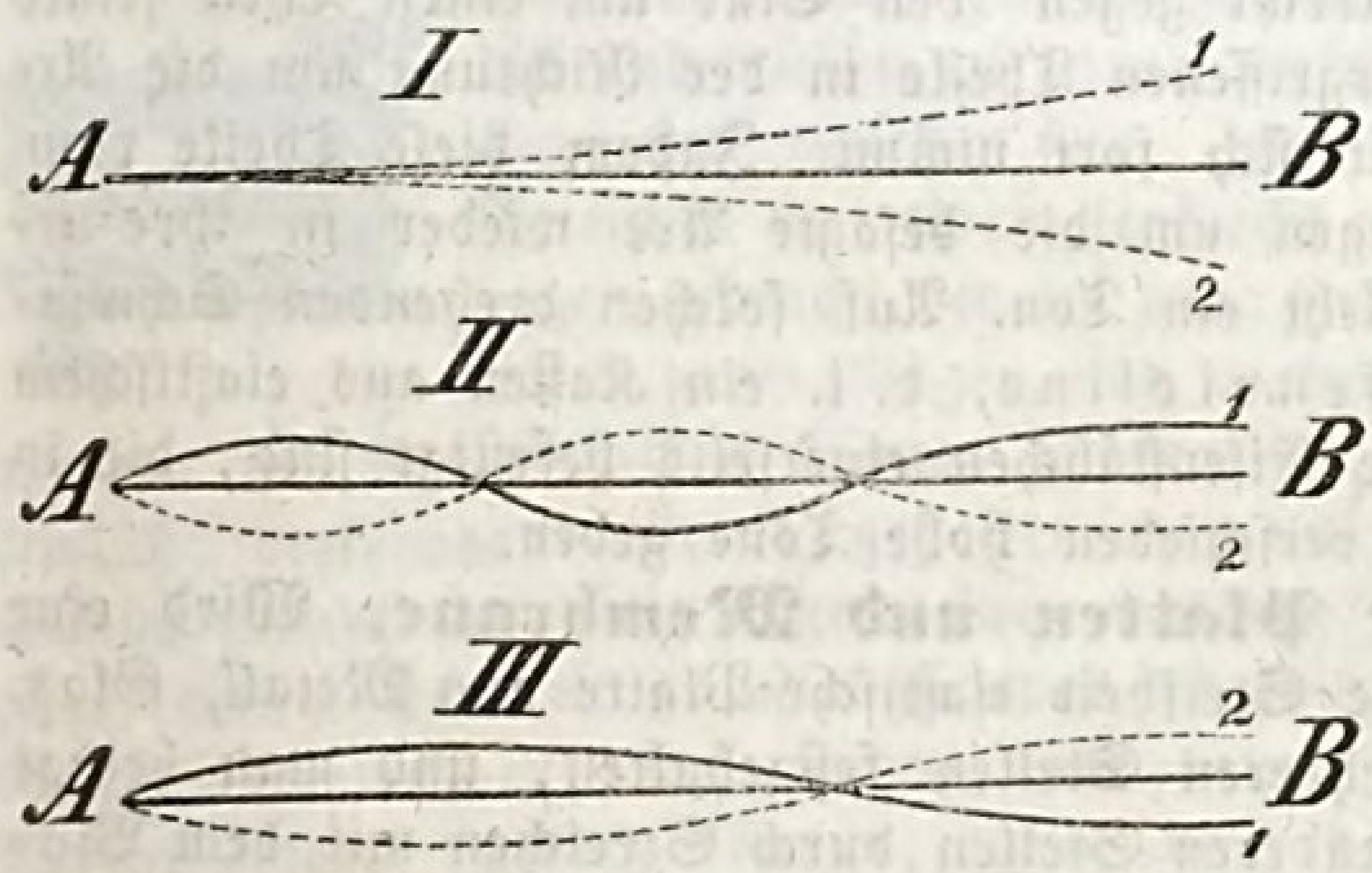
Die Höhe des Tones steigt, wie wir von S. 316 her wissen, überhaupt (was auch immer Tonerreger sei) mit der Anzahl der in bestimmter Zeit erfolgenden Schwingungen (mit der Schwingungszahl) und diese Anzahl steht bei Saiten, wie die Rechnung lehrt, 1. mit der Länge der Saite (des als Ganzes schwingenden Stückes), 2. mit ihrem Durchmesser und 3. mit der Quadratwurzel aus ihrer Dichte im verkehrten, ferner 4. mit der Quadratwurzel aus ihrer Spannung (dem ihr diese Spannung ertheilenden Gewichte) im geraden Verhältnisse, so daß eine Saite (in bestimmter Zeit) mehr Schwingungen macht und einen höheren Ton gibt, wenn sie, bei sonst gleicher Beschaffenheit, kürzer oder dünner oder aus weniger dichtem Materiale bestehend oder stärker gespannt ist.

Was hier von der Interferenz transversaler Wellen einer gespannten Saite gezeigt worden, läßt sich auf jede andere Art von Wellen, namentlich auf die in einer cylindrischen oder prismatischen Luftsäule erzeugten, anwenden, die (S. 319 und 320) aus einer verdichteten und einer verdünnten Hälfte bestehen. Treffen daher in einer Luftsäule zwei einander entgegengehende Züge gleichlanger Wellen, in deren respectiven Hälften die nämliche Verdichtungs- und Verdünnungsbeschaffenheit herrscht, zusammen (der eine Zug soll z. B. aus lauter an dem einen Ende der Luftsäule nach einander angeregten und der andere Zug aus diesen vom zweiten Ende der Luftsäule reflectirten Wellen bestehen); so gestaltet sich durch die Interferenz beider Züge die ganze Luftsäule zu einer continuirlichen Reihe von Stücken, deren jedes so lang wie das andere und so lang wie die Hälfte einer ursprünglichen Welle ist, und in deren jedem die Lufttheilchen longitudinal (nach der Länge der Luftsäule) zwischen zwei beständig in Ruhe befindlichen Querschnitten hin- und herschwingen, so daß die Luftsäule sich ebenfalls in einer stehenden Schwingung befindet...(B). Um die Nothwendigkeit des Entstehens einer solchen Schwingung hier so wie vorhin bei der transversalen Bewegung einzusehen, darf man nur in der Fig. 312 die Ausbeugungen nach aufwärts die verdichteten, die Ausbeugungen nach abwärts aber die verdünnten Hälften der Wellen bedeuten lassen und sich unter den Ordinaten der Ausbeugungs-Curven Bewegungszustände der longitudinal schwingenden Lufttheilchen, also unter den entgegengesetzt (auf- und abwärts) liegenden Ordinaten, derlei entgegengesetzte Zustände denken... (C).

166. Tönen elastischer Stäbe und Streifen. Wird ein elastischer, gerader, gleich dicker und gleichförmig dichter Stab an einem Ende befestigt und hernach durch Streichen mit einem Bogen, durch Schlagen mit einem Hammer, durch den Zug mit der Hand oder durch sonst eine passende Einwirkung aus der Gleichgewichtslage gebracht; so geräth er vermöge seiner Elasticität in transversale Schwingungen, welche, wenn sie schnell genug auf einander folgen, einen Ton erzeugen. Er schwingt dann entweder in seiner ganzen Länge oder in durch Schwingungsknoten getrennten Abtheilungen, und die, die Höhe der Töne bestimmenden Schwingungszahlen stehen unter übrigens gleichen Umständen im geraden Verhältnisse mit seiner Dicke, im verkehrten der Quadrate der Länge der schwingenden Stücke, und sind von deren Breite unabhängig. Die Schwingungsknoten entstehen auch hier durch Interferenz der angeregten Wellen nach

ihrer Reflexion von den Enden des Stabes und lassen sich dadurch leicht hervorrufen, daß man den Stab am Ende eines passenden aliquoten Theiles (des Drittels, des Viertels u. s. w.) seiner Länge leicht berührt und das längere Stück nahe am Berührungspunkte streicht. Die Beschaffenheit und Entstehungsweise der Wellen ist die nämliche wie bei transversal schwingenden Saiten. In Fig. 313 sind bei **I, II, III** durch die Linien 1, 2 die Excursionen angedeutet, welche die Theile des in **A** befestigten Stabes **AB** aus der Gleichgewichtslage hinaus machen, während dieser der ganzen Länge nach (wo er den tiefsten Ton gibt), mit einem oder mit zwei Knoten schwingt. So wie elastische Stäbe verhalten sich bezüglich tönender Schwingungen auch schmale elastische Streifen. Solche Stäbe oder Streifen finden als Tonerzeuger Anwendung: bei den Spielwerken in Petschaften, Dosen, Taschen- und Stockuhren, wo einseitig festgemachte Stahlfedern verschiedener Länge und Dicke durch aus dem Umfange einer sich drehenden Walze hervorstehende Stifte aus der Ruhelage heraus und zum Schwingen gebracht werden; bei der Mund- oder Wind- und bei der Physharmonika, wo elastische, durch einen Luftstrom in Bewegung versetzte Metallzungen die Töne geben; beim Stabgeläute, wo statt der Glocken Stahlstäbe dienen, die viel wohlfeiler und bequemer unterzubringen sind, sich leicht beliebig stimmen lassen und, durch hölzerne Hämmer angeschlagen, sehr rein und weit vernehmbar klingen; bei den Schlagwerken der Uhren, wo metallene, meistens spiralförmig gebogene Federn die Stelle der Glocken vertreten.

Fig. 313.



Gekrümmte Stäbe schwingen ganz so wie gerade, nur mit dem Unterschiede, daß die Schwingungsknoten, zwischen welche die Krümmung fällt, in Folge dieser einander näher gerückt sind, als dies bei einem geraden Stabe unter übrigens gleichen Umständen der Fall wäre, weswegen der gekrümmte Stab immer einen etwas höhern Ton gibt. Ein solcher Stab ist die Stimmgabel, d. i. ein gabelförmig gebogener Stahlstab (Fig. 314), der an der Krümmung einen Stiel **a** hat und, mit einer der Zinken **b**, **c** angeschlagen, einen gewissen, bei Stimmung musikalischer Instruments als fester Anhaltspunkt dienenden Ton gibt, wobei er mit zwei in der Krümmung und sehr nahe aneinander liegenden Knoten schwingt.

Fig. 314.



Wird ein elastischer, hinreichend langer und dicker Stab mittelst eines befeuchteten, oder mit Bims oder Kolophonium bestreuten Lederlappens an einer Stelle der Länge nach gerieben, während man ihn an einer andern Stelle festhält, so geräth er in longitudinale (Längen-) Schwingungen und tönt. An der Reibungsstelle werden nämlich durch Fortschieben der Theilchen nach der Richtung des Reibens Verdichtungen und zunächst hinter diesen, nämlich dort, von wo die Theilchen weggeschoben werden, Verdünnungen, also Wellen erzeugt ... (†), durch deren Fortpflanzung bis an die Enden des Stabes und Interferirung nach erfolgter Reflection von diesen, eine stehende Schwingung entsteht, bei welcher die Theilchen so wie bei einer in solcher Schwingung befindlichen Luftsäule [s. (B) S. 334] zwischen zwei Knotenflächen sich hin und her (abwechselnd von und gegen einander) bewegen. Die Höhe der durch Längenschwingungen erzeugten Töne hängt bei einer und derselben materiellen Beschaffenheit der Stäbe durchaus nicht von ihrer Dicke

ab, wächst mit den schwingenden Längen im umgekehrten Verhältnisse und ist immer größer als die Höhe jener Töne, welche die Stäbe unter sonst gleichen Umständen bei Querschwingungen geben würden.

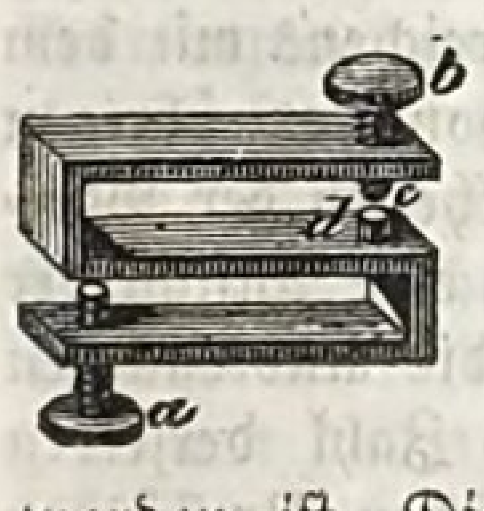
Endlich sind elastische Stäbe auch noch drehender Schwingungen fähig, die reine musikalische Töne erzeugen und am leichtesten bei cylindrischen, an einem Ende festgemachten Stäben angeregt werden, wenn man sie mit dem Violinbogen so streicht, daß sich dieser senkrecht gegen den Stab um einen Theil seines Umfangs herum bewegt und die ergriffenen Theile in der Richtung um die Axe des Stabes eine Strecke weit mit sich fort nimmt. Indem diese Theile dann durch eine Reihe von Schwingungen um die besagte Axe wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren, entsteht ein Ton. Auf solchen drehenden Schwingungen beruhen die Töne der Eisenvioline, d. i. ein Kasten aus elastischem Holz, auf welchem senkrecht runde Eisenstäbchen einerseits befestigt sind, die in Folge ungleicher Länge und Dicke verschieden hohe Töne geben.

167. Tönen elastischer Platten und Membrane. Wird eine ebene oder gekrümmte, durch eigene Steifheit elastische Platte aus Metall, Glas, Holz u. s. w. an einer oder an mehreren Stellen festgehalten, und man bringt dann an einer oder an mehreren anderen Stellen durch Streichen mit dem Violinbogen oder durch sonst eine passende Einwirkung Theile der Platte nach einer auf ihr senkrechten (normalen) Richtung aus der Ruhelage; so entsteht, da die besagten Theile nachher durch transversale Schwingungen wieder in die Ruhelage zurückkehren, an der Stelle der Platte, wo die Einwirkung Statt fand, eine Reihe nach einander folgender Wellen (deren jede, wie bei transversal schwingenden Saiten oder Stäben, von zwei aneinander grenzenden, gleichzeitig nach entgegengesetzten Richtungen über die Ruhelage der Platte hinaus gebeugten Stücken der letzteren gebildet wird). Diese Wellen pflanzen sich nach allen Seiten bis an die Grenzen der Platte fort, werden dort reflectirt, es kömmt so zur Interferenz, und in Folge dieser geräth die Platte in eine stehende, einen Ton erzeugende Schwingung, wobei sich ihre Fläche symmetrisch in vibrirende aliquote Theile abtheilt, die durch gerade oder krumme, einander mannigfaltig durchkreuzende Ruhe- oder Knotenlinien geschieden sind. Diese Knotenlinien lassen sich bei ebenen Platten, durch darauf gestreuten feinen Sand, der von den bewegten Punkten weggeworfen und an den ruhenden angehäuft wird, sichtbar machen und erscheinen dann als regelmäßige oder symmetrische, mehr oder weniger zusammengesetzte Figuren, die man, weil ihre Bildung mit einem Klange verbunden ist, Klangfiguren, oder nach ihrem Entdecker Chladni, Chladnische Figuren nennt. Die Höhe des Tones, den eine in der beschriebenen Art schwingende Platte gibt, hängt von dem Materiale, von der Größe und Dicke der Platte, und unter übrigens gleichen Umständen von der Anzahl der aliquoten Theile ab, in welchen die Platte schwingt. In letzterer Beziehung ist der Ton desto höher, je größer diese Anzahl und je zusammengesetzter mithin die Klangfigur ist. Da die Figur das Resultat einer Interferenz der durch den Violinbogen oder dgl. an einer Stelle der Platte angeregten und von den Grenzen derselben reflectirten Wellenbewegung ist, da ferner die Stelle, wo die Platte festgehalten wird, immer in Ruhe bleibt, also Ruhe- oder Knotenpunkte enthalten muß; so sieht man ein, daß die Gestalt der Klangfiguren durch die Lage des Punktes, wo die Wellenbewegung angeregt, des Punktes, wo die Platte festgehalten wird, und durch die Art der Begrenzung, d. i. die Gestalt der Platte bestimmt werden muß.

Bei Erzeugung der Klangfiguren bedient man sich am besten möglichst gleichförmig dicker Scheiben von gemeinem, dünnem Fensterglase, denen der beim Zuschneiden entstandene scharfe Rand durch Abschleifen auf einem Sandsteine benom-

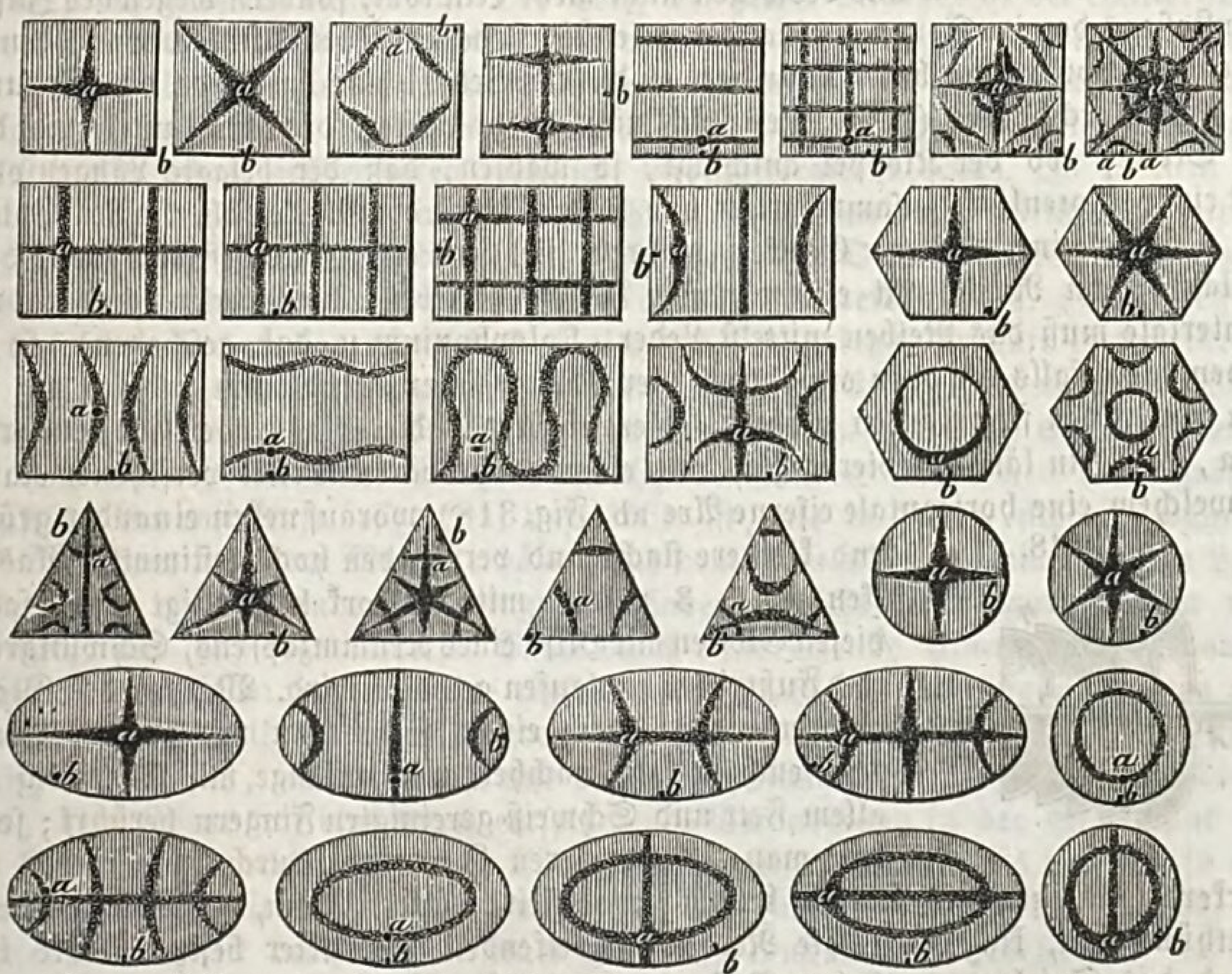
men worden, und zum Aufstreuen eignet sich vorzüglich gut ausgewaschener und getrockneter, feiner Quarzsand. Man hält die Scheibe an der gehörigen Stelle zwischen den Spitzen des Daumens und Mittelfingers mäßig fest, oder spannt sie, was bei größeren Scheiben meistens nothwendig wird, in einem eigenen hölzernen Gestelle (Fig. 315) ein, das mittelst der Schraube a an einen Tisch angeschraubt wird und die Scheibe zwischen dem Ende c der Schraube b und dem darunter befindlichen Stützpunkte d aufnimmt. c und d dürfen nicht dick und müssen mit einem weichen Ueberzuge aus Kork, Leder oder Kautschuk versehen sein. Zum Schwingen wird die Scheibe durch Streichen mit einem senkrecht gegen ihre Ebene angesetzten Violinbogen gebracht, der nur etwa halb so viele Haare hat, als ein gewöhnlicher guter Bogen und vorher stark mit Kolophonium geschmiert worden ist. Die Scheiben können quadratisch, länglich rechteckig, kreisrund elliptisch, drei- oder mehreckig gestaltet sein, und müssen vor dem Bestreuen mit dem Sande immer sorgfältig abgetrocknet werden, damit dieser nicht adhärirt. Man sieht in Fig. 316 einige Klangfiguren abgebildet, wie sie auf quadratischen und länglich rechteckigen, auf runden und ovalen, endlich auf drei- und sechseckigen Tafeln erzeugt werden können, wenn man dieselben an den mit a bezeichneten Stellen festhält oder einspannt und an den mit b markirten Punkten streicht.

Fig. 315.



Macht man die Klangfiguren mittelst Harzstaub, so kann man sie durch nachheriges Erwärmen der Platten, Berußen mit Kienspänen und schließliches Abwaschen leicht fixirt darstellen.

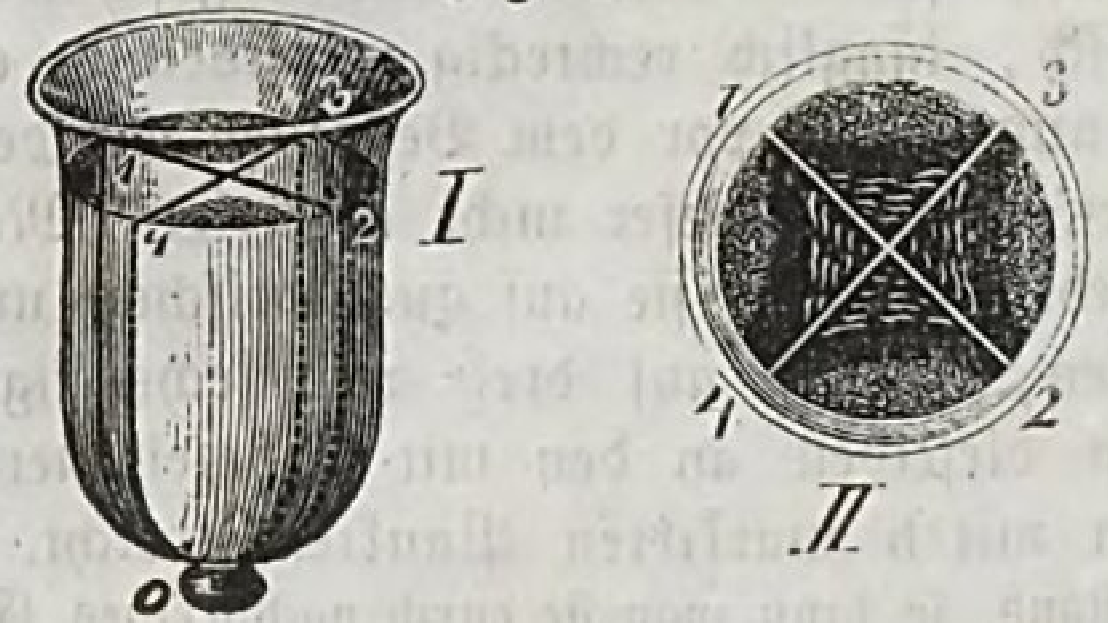
Fig. 316.



Von gekrümmten Tafeln sollen hier nur die Glocken etwas näher betrachtet werden. Diese verhalten sich beim Tönen so wie runde ebene Scheiben in den einfachsten Schwingungsformen, wo nämlich wie z. B. auf der ersten in Fig. 316 abgebildeten Tafel die Knotenlinien sich im Mittelpunkte schneiden. Eine Glocke theilt sich, wenn sie an irgend einer Stelle angeschlagen wird, in vier transversal schwingende Theile, die durch eben so viele, von einander um 90° abstehende und im Knopfe o zusammentreffende Knotenlinien 1, 2, 3, 4 (Fig. 317) geschieden sind, und gibt dann den tiefsten Ton, dessen sie fähig ist. Es können auch sechs, acht oder

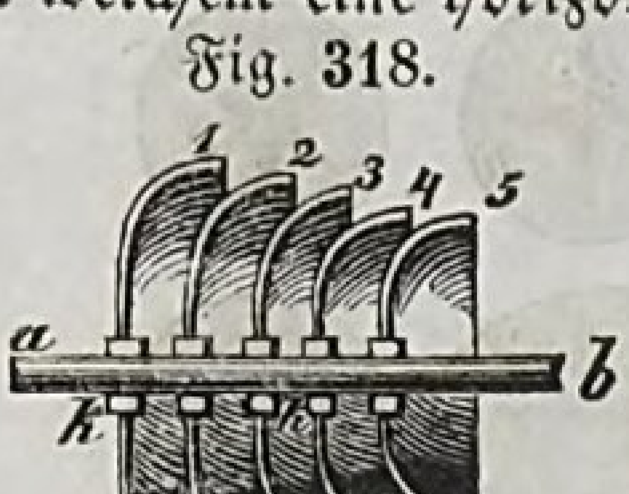
mehrere Schwingungsknoten, aber immer nur in gerader Anzahl, also eben so viele schwingende Unterabtheilungen der Glocke erzeugt werden, wenn man diese an einer oder einigen passenden Stellen leise berührt und mit dem Violinbogen an einem Punkte des Randes in der Richtung des Durchmessers streicht, der ungefähr die Mitte einer der beabsichtigten Abtheilungen bildet. Wurde die Glocke vorher mit Wasser angefüllt und auf dessen Oberfläche eine dünne Lage sogenannten Hexenmehls (Bärlappensamens) gestreut; so unterscheidet man während des Streichens mit dem Bogen deutlich die ruhenden, an den Knoten liegenden Stellen von den übrigen mit den schwingenden Partien der Glocke in Berührung stehenden Theilen der Wasseroberfläche, die sich in kräuselnder Bewegung (Fig. 317, bei **II**, eine Ansicht der Glocke von oben darstellend) befinden, kann also auf diese Art die Knotenlinien sichtbar machen. Mit der Zahl derselben wächst unter übrigens gleichen Umständen die Höhe des Tones, den die Glocke gibt. Aendert der Punkt, wo eine Glocke mit dem Klöppel angeschlagen wird, den Platz, so fallen ohne Aenderung der Tonhöhe die Knotenlinien, ihre gegenseitige Lage beibehaltend, an andere Stellen. Dies gibt ein Mittel an die Hand, einer Glocke, z. B. einer Thurmglocke, die in einem schwingenden Theile der Länge (Höhe) nach einen Sprung bekommen hat und deswegen nicht mehr rein tönt, sondern wegen des Zusammenstoßens der im Sprunge einander gegenüberstehenden Theile nur klappert, den vorigen Ton wiederzugeben. Man darf zu diesem Behufe nur am Ende des Sprunges ein Loch durchbohren (damit dieser sich nicht mehr weiter fortsetzen kann) und dann die Stelle, wo der Klöppel anschlägt, so wählen, daß der besagte Längensprung mit einer Knotenlinie zusammenfällt und beim Klingen der Glocke daher in Ruhe bleibt.

Fig. 317.



Wird eine gläserne Glocke, während sie, auf einer Axe befestigt, mit dieser umläuft, am Rande mit einem nassen Finger gerieben (bei Glocken aus anderem Materiale muß das Reiben mittelst Leder, Kolophonium u. dgl. geschehen); so entstehen gleichfalls die oben erwähnten vier Knotenlinien, und man erhält den tiefsten Ton, den sie zu geben vermag. Hierauf beruht die Glas- oder Glockenharmonika, d. i. ein länglich viereckiger, mit einem abhebbaren Deckel versehener Kasten, in welchem eine horizontale eiserne Axe ab (Fig. 318), worauf neben einander größere und kleinere flache und verschieden hoch gestimmte Glasglocken 1, 2, 3 u. s. w. mittelst Kork k befestigt sind, sammt diesen Glocken mit Hilfe eines Krummzapfens, Schwungrades und Fußtrittes umlaufen gemacht wird. Werden die Glocken während dem durch einen Schwamm mit reinem Wasser angefeuchtet, und nachher am Umfange mit sorgfältig von allem Fett und Schweiß gereinigten Fingern berührt; so erhält man Töne, deren Intensität durch schwächeres oder stärkeres Anlegen der Finger beliebig modificirt werden kann, und die einen eigenthümlichen, klagenden, die Nerven angreifenden Charakter besitzen. Die linke Hand des Spielers greift den Baß, die rechte den Discant.

Fig. 318.



Den Schwingungen fester elastischer Platten ähnlich sind jene breiter gespannter Membrane, und diese haben in praktischer Beziehung nur bei den Pauken und bei den Trommeln Bedeutung. Nach Chladni kann ein allerseits gleichmäßig gespanntes Paukenfell nur eine dasselbe in der Richtung eines Durchmessers schneidende Knotenlinie, oder wenn es mit dem Klöppel in der Mitte angeschlagen wird, nur eine oder mehrere runde zum äußeren Umkreis des Felles concentrische oder endlich beide Arten von Knotenlinien vereinigt erhalten.

168. Tönen der Luft. Bei den Flöten- (oder Labial-) Pfeifen der Orgeln und bei allen übrigen sogenannten einfachen (d. i. nicht mit elastischen Plättchen [Zungen] versehenen) Blasinstrumenten (Flöte, Trompete, Posaune, Waldhorn rc.) ist die in der Röhre, welche den Hauptthéil des Instrumentes bildet, enthaltene Luftsäule allein der tönende Körper: denn es hängt der Erfahrung gemäß die Höhe des Tones nur von den Dimensionen, der Temperatur und der Schwingungsart dieser Säule und durchaus nicht von dem Materiale der Röhre ab. Dieses übt (durch Rückwirkung in einer Weise, die aus einem folgenden Paragraphe klar werden wird) blos auf jene Qualität des Tones, die mit dem Worte Klang bezeichnet wird, und auf dessen Stärke einen Einfluß. Die Ursache des Tönens der besagten Luftsäule ist eine stehende Schwingung, in welche sie im Allgemeinen dadurch versetzt wird, daß man an dem einen Ende derselben (durch Anblasen u. s. w.) Wellen erregt, die an das zweite Ende fortschreiten, dort reflectirt werden und sich nachher mit den von der Erregungsstelle aus noch unterwegs befindlichen Wellen interferiren [(B) S. 334]. Die Verdichtungen und Verdünnungen, welche während der stehenden Schwingung der Luftsäule aus dieser am Ende des Blasinstrumentes abwechselnd an die äußere Luft gelangen oder (mit andern Worten) die in der stehend schwingenden Luftsäule überall, also auch wo sie an die äußere Luft grenzt, Statt findenden Hin- und Hergänge (longitudinale Schwingungen der Theilchen) erzeugen in der äußeren Luft wieder abwechselnde Verdichtungen und Verdünnungen, d. i. Wellen, die, allseitig fortgepflanzt und zum Ohre gelangt, auf dasselbe einwirken. Der Ton, der hiebei entsteht, ist bei cylindrischen und prismatischen Blasinstrumenten, wenn sie bedeutend länger als weit sind, (und nur solche sollen, da sie allein Anwendung in der praktischen Musik finden, betrachtet werden) desto höher, je geringer die Länge der als Ganzes schwingenden Luftsäule... **1)** und je größer deren spezifische Expansivkraft ist... 2). In **1)** liegt der Grund, warum bei einem mit Seitenlöchern versehenen Blasinstrumente (Flöte, Klappentrompete u. s. w.) durch das Schließen oder Oeffnen einer verschiedenen Zahl dieser Löcher die Tonhöhe so vielfach abgeändert werden kann. (Das Oeffnen eines solchen Loches hat nämlich bezüglich des Einwirkens der Luft in der Röhre auf die äußere Luft der Hauptsache nach den nämlichen Erfolg, als wäre die Röhre an der Stelle des geöffneten Loches abgeschnitten worden.) Aus 2) erhellt, warum der Ton einer Pfeife unter übrigens gleichen Umständen in warmer (eine größere spezifische Expansivkraft besitzender) Luft höher ist, als in kalter, sich also während des Anblasens mit dem Munde erhöht. Aus dem Umstande, daß eine tönende Luftsäule sich in einer stehenden Schwingung befindet, welche Schwingungsknoten voraussetzt, und daß man in dieser Säule durch entsprechende Einwirkung von außen (gehöriges Anblasen u. s. w.) eine verschiedene Anzahl von Schwingungsknoten und mithin eine Abtheilung in verschiedene für sich schwingende Theile bewerkstelligen kann, erklärt sich, warum einem und demselben Blasinstrumente (z. B. der Trompete, dem Horne rc.) blos durch entsprechende Veränderung in der Stärke und Art des Anblasens so verschieden hohe Töne entlockt werden können. Es läßt sich so aber immer nur eine mit dem tiefsten Tone, den das Instrument zu geben vermag, anfangende und mit demselben in einer genauen, constanten Höhebeziehung stehende Tonfolge hervorbringen. Man erhält daher z. B. aus einer Trompete, wenn man durch Hinzugabe oder Wegnahme eines der sogenannten Setzstücke die Röhre verlängert oder verkürzt und dadurch bewirkt, daß der tiefste Ton, dessen sie fähig ist, an Tiefe zu- oder abnimmt, sogleich eine andere Tonfolge, d. h. die Töne derselben stehen zwar zu dem tiefsten Tone in der nämlichen Höhebeziehung wie vorher, aber die correspondirenden Töne beider Folgen sind in der Höhe von einander verschieden. Man kann also durch Anwendung verschiedener Setzstücke einer Trompete und ebenso einem Horn verschiedene Tonfolgen abgewinnen, und hierauf gründet

sich das Umstimmen dieser Instrumente in die verschiedenen Tonarten mittelst der besagten Setzstücke (Krummbögen). Bei der Posaune werden diese Krummbögen durch mehr oder weniger starkes Auseinanderziehen oder Zusammenschieben der zwei gabelförmigen Röhrenstücke ersetzt, aus welchen das Instrument besteht, und wovon das untere (das Hauptstück) sich längs der zwei (eingeölten) Schenkeln des obern (den sogenannten Stangen), die es einschließt, verschieben läßt.

Uebrigens hängt die Höhe des besagten tiefsten Tones eines Blasinstrumentes auch wesentlich davon ab, ob es ein offenes oder ein gedecktes, d. h. ob dessen Röhre beiderseits offen, oder an dem von der Anblasstelle entfernteren Ende ganz geschlossen ist. Im ersteren Falle ist unter übrigens gleichen Umständen der tiefste Ton immer gerade um eine Octav höher als im letzteren; bei theilweiser Deckung des besagten Röhrenendes liegt seine Höhe aber zwischen den Höhen der oben bezeichneten zwei Fälle darinnen... (3). Uebrigens stehen die Töne der bei einem offenen und der bei einem gedeckten Blasinstrumente möglichen Tonfolge sowohl unter einander als zu dem tiefsten Tone in einem verschiedenen Höhenverhältnisse. Endlich bewirkt eine trichterförmige Erweiterung des offenen Endes der Röhre eine Vermehrung und eine konische Verengung desselben eine Verminderung der Tonhöhe... 4).

Fig. 319.

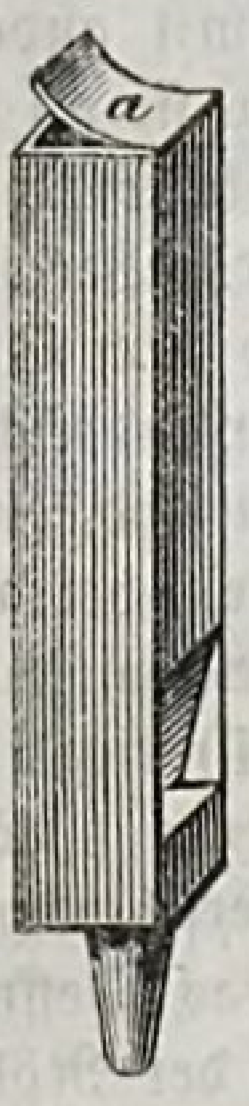
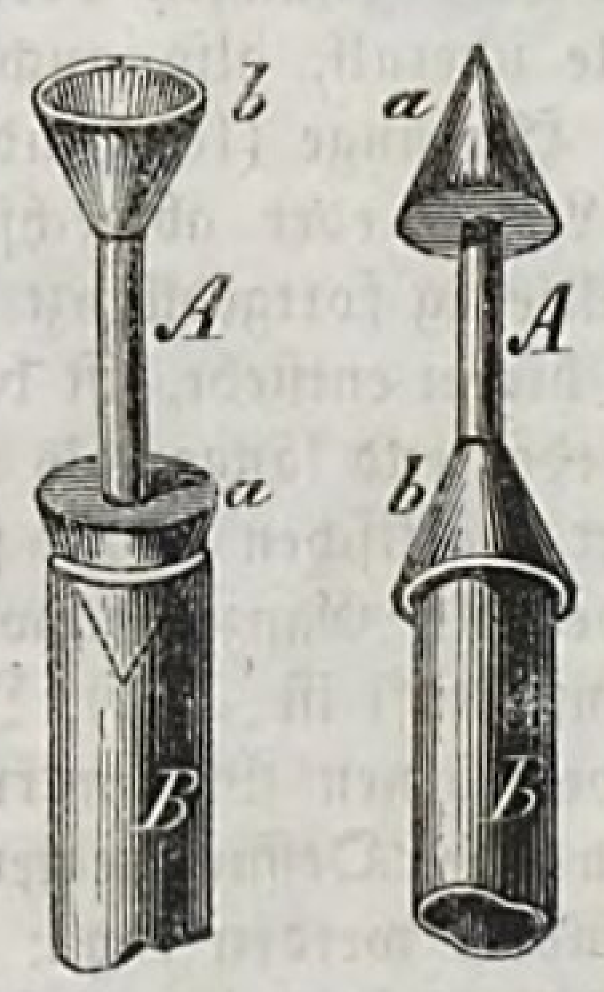


Fig. 320.



Auf 3) gründet sich der Kunstgriff der Waldhornisten, durch mehr oder weniger starkes Einstecken der Hand in das erweiterte Ende des Hornes die Tonhöhen etwas abzuändern, so wie das Tieferstimmen hölzerner Orgelpfeifen, indem auf deren offenes Ende unter entsprechender Neigung eine Bleiplatte a (Fig. 319) aufgesetzt wird; und aus 4) erklärt sich das übliche Verfahren, runde, metallene (zinnerne) Orgelpfeifen B (Fig. 320) dadurch höher oder tiefer zu stimmen, daß ihr offenes Ende mittelst des Stimmhornes A passend erweitert oder verengt wird. Ersteres geschieht durch Eintreiben des massiven Kegels a und letzteres durch Auftreiben des hohlen Kegels b.

169. Die Anregung des Tones bei Blasinstrumenten erfordert im Allgemeinen, daß an einer Stelle, z. B. an dem einen Ende der in der Röhre des Instrumentes eingeschlossenen Luftsäule eine rasche Folge abwechselnder Verdichtungen und Verdünnungen, d. i. longitudinaler Wellen hervorgerufen werde, damit durch ihre Fortpflanzung an das zweite Ende, durch ihre Reflexion daselbst (welche dadurch bewirkt, daß die an diesem Ende anlangende Verdichtung in eine Verdünnung und umgekehrt übergeht) und durch die nachher erfolgende Interferenz der reflektirten Wellen mit den direkten (von der Anregungsstelle aus noch unter Wegs befindlichen) in der Luftsäule jene stehende Schwingung zu Stande kömmt, die, wie wir aus dem Vorhergehenden wissen, Bedingung ihres Tönens ist *). Das Hervorrufen einer solchen raschen Wellenfolge geschieht aber entweder:

1. Indem man in die Röhre Luft so einbläst, daß dieselbe, wie dies bei der gewöhnlichen Flöte, bei den Flöten- oder Labialpfeifen der Orgeln und bei der sogenannten Hirtenpfeife der Fall ist, gegen schräg zugeschärfte Rän-

*) Nach Fermont, welcher die Schwingungen der Luft in Pfeifen durch Tabakrauch, womit die Pfeifen gefüllt waren, sichtbar machte, zeigte sich in der Luft während des Tönens der Pfeife eine Spiralbewegung, und seine Versuche in Betreff dieses Gegenstandes führten ihn zu dem Schluß, daß der Ton in Pfeifen durch eine doppelte Bewegung der Luft darin, nämlich eine schraubenförmige und eine rotirende, erzeugt werde. Er glaubt auch, daß der Schneckengang im Ohre beim Wahrnehmen des Tönens eine der wichtigsten Rollen spiele, so daß seine Abwesenheit oder Mißstaltung Ursachen von Unvollkommenheit des Ohres würden.

der einer Oeffnung trifft, sich daselbst bricht, hiedurch in eine hin und her gehende Bewegung (Schwingung) geräth und diese Bewegung den Lufttheilchen in der Röhre mittheilt.

Bei den letzt genannten zwei Pfeifenarten wird die anblasende Luft, der Wind, den schräge zugeschärften Rändern durch einen eigens dazu bestimmten engen Kanal zugeleitet. In Fig. 321 ist bei I eine vierseitig prismatische und bei II eine cylindrische (zinnerne) Orgelflötenpfeife im Aufrisse und im Längendurchschnitte abgebildet. Die durch den Fuß oder das Windrohr a eingeblasene Luft bricht sich, indem sie durch das von den etwas nach einwärts tretenden Lippen (der obern b und der untern c) gebildete, viereckige Mundloch m wieder austritt, an der oberen Lippe und setzt die Luftsäule in dem eigentlichen Pfeifenrohre d, indem diese dort verdrängt wird und nachher kraft ihrer Elasticität wieder ins vorige Gleichgewicht zurück strebt, in tönende Schwingung. Der Wind gelangt gegen die Oberlippe durch eine feine Spalte i, welche in einem den Fuß und das Pfeifenrohr von einander scheidenden Kerne oder Querstücke k zunächst an der Unterlippe belassen ist. Das Anblasen dieser so wie aller Orgelpfeifen geschieht mittelst eines oder mehrerer Blasbälge, welche die geschöpfte Luft in einen hölzernen Kasten (Windkasten) hineintreiben, dessen horizontaler Deckel zugleich den Boden eines zweiten darüber angebrachten Behältnisses (der Windlade) bildet. Letzteres ist durch vertikale Bretchen in so viele untereinander nicht communicirende Fächer (Cancellen) abgetheilt, als die Orgel Pfeifen hat, und von diesen geht immer eine mit dem Fuße luftdicht durch die Decke einer Cancelle hindurch. Da die im Boden der Windlade vorhandenen, in die Cancellen führenden Oeffnungen vermittelst Ventilen geschlossen sind, die durch Niederdrücken der Tasten und Pedale geöffnet werden; so kann die Luft aus dem Windkasten immer nur in jene Cancellen und die in sie einmündenden Pfeifen gelangen, deren Bodenventile durch die betreffenden Tasten oder Pedale geöffnet wurden. Bei der Hirtenpfeife, wovon ein Exemplar durch Fig. 322 im Aufrisse und im Durchschnitte anschaulich gemacht ist, wird die Luft aus dem Munde durch den engen Kanal c, den ein Längenabschnitt des in die Röhre eingesetzten cylindrischen Holzkernes i frei läßt, gegen die schiefen Ränder 1, 2 des Ausschnittes geblasen, bricht sich an diesen Rändern und bringt so die Luftsäule in der Röhre zum Tönen.

Fig. 321.

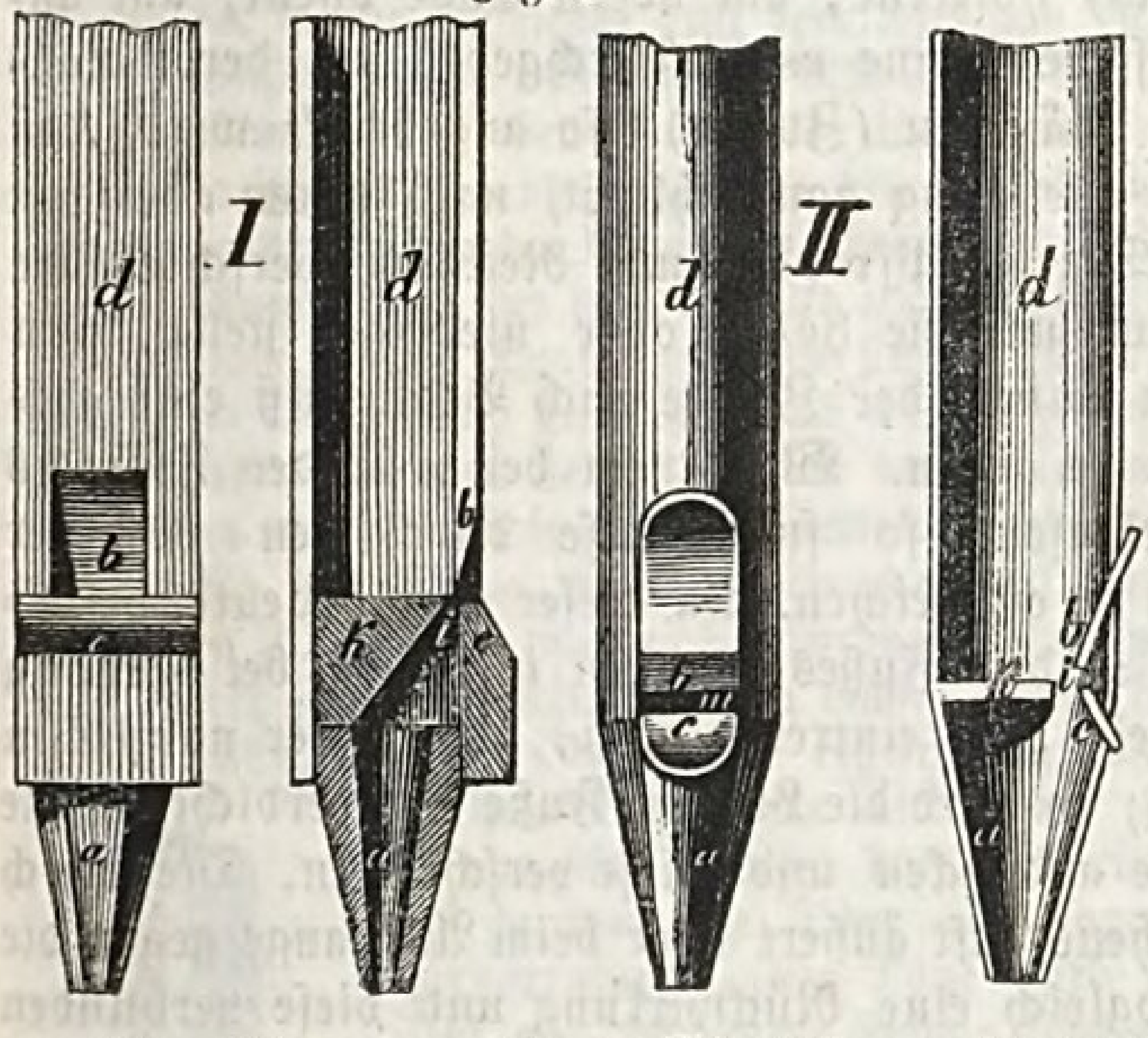
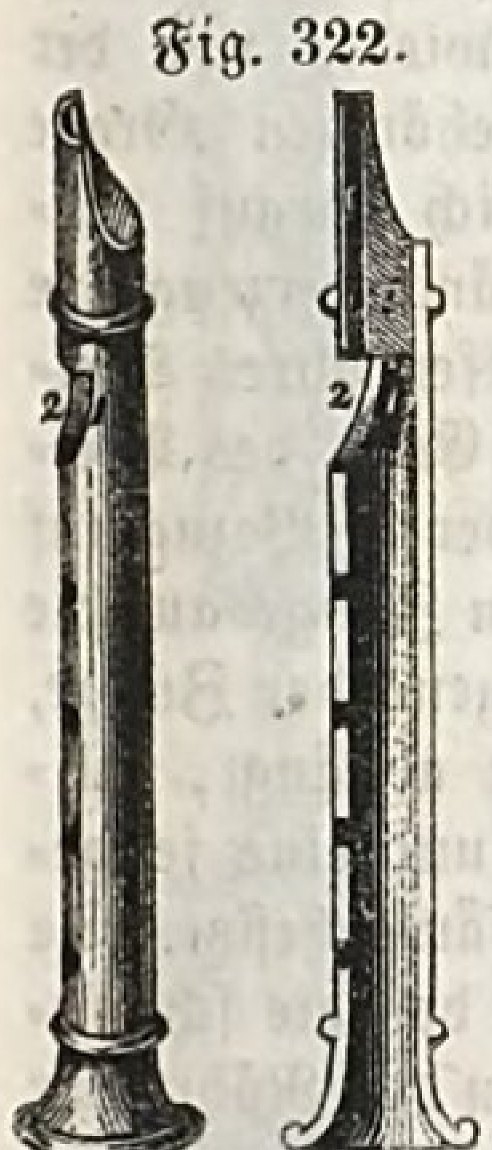


Fig. 322.



2. Indem ein an dem Ende der Röhre schnell und kräftig eingeblasener Luftstrom daselbst die Theilchen der Luftsäule mechanisch mit sich fortreißt, so daß, wie beim Reiben eines elastischen Stabes [siehe (†) auf S. 335] eine Verdichtung und hinter dieser (an der Stelle nämlich, von welcher die Theilchen fortgerissen wurden) eine Verdünnung, mithin eine Welle entsteht. Dies ist der Fall bei der Trompete, der Posaune, dem Waldhorne und dem Serpent, obgleich die Ansicht, — daß bei diesen Instrumenten die Lippen des anblasenden Mundes, die an den Rand eines kegelartigen, oben halbkugelförmig ausgehöhlten Mundstückes angedrückt werden, wesentlich zur Erzeugung des Tones mitwirken, indem sie durch den zwischen ihnen herausgepreßten Luftstrom selbst in Schwingungen gerathen und durch diese auf die eingeschlossene Luftsäule wirken (so wie wir dies sogleich von elastischen Plättchen zeigen werden) — sehr viel für sich hat.

3. Indem durch einen Luftstrom ein elastisches Plättchen (Zunge) in Schwingungen versetzt und durch dieses dann auf die in dem Blasinstrumente eingeschlossene

Luftsäule eine Reihe regelmäßig auf einander folgender Stöße ausgeübt wird, was bei den **Rohr- oder Schnarrwerken (Zungenpfeifen)** der Orgeln, bei der Clarinette, der Oboe, dem Fagott rc. der Fall ist. Ein Rohrwerk oder eine Zungenpfeife (Fig. 323) besteht aus dem Fuße abc, durch den die Luft eingeblasen wird und über welchem sich das eigentliche, die tönende Luftsäule einschließende Pfeifenrohr de befindet. Beide Theile scheidet ein Pfropf i, durch den eine (gewöhnlich) hölzerne, am obern Ende offene, am untern aber schräg abgeschlossene Rinne rs hindurchgeht, an deren Längenöffnung ein elastisches Plättchen (Zunge) f so angedrückt wird, daß es den oberen Theil dieser Oeffnung ganz schließt, nach unten aber von derselben etwas absteht. Die im Pfropfe i mit Reibung verschiebbare Krücke mn gestattet, indem man sie höher oder niedriger stellt, dem von der Rinne abstehenden Stücke der Zunge nach Bedürfniß eine größere oder geringere Länge zu geben. Wird nun bei a in den Fuß des Instrumentes Luft eingeblasen, so sucht diese durch den von der Zunge belassenen Spalt o zu entweichen. Da dieser aber bedeutend kleiner ist als die Mündung a des Fußes, mithin in diesen bei gehörig starkem Blasen immer mehr Luft eintreten muß, als in der nämlichen Zeit bei o austreten kann; so wird die Luft im Fuße sich verdichten, die Zunge ganz an die Rinne andrücken und diese verschließen. Die durch die Rinne hindurch gestrichene Luft äußert aber beim Andrange gegen die äußere auf die Zunge sogleich eine Rückwirkung und diese verbunden mit der Elasticität der Zunge macht, daß letztere (die Zunge) wieder von der Rinne zurückschnellt. Setzt man das Einblasen von Luft im gehörigen Grade fort, so wird die Zunge vom Neuen angedrückt, schnellt gleich darauf wieder zurück u. s. w. Durch diese abwechselnden Hin- und Hergänge erzeugt sie in der Luft der Rinne und des mit dieser communicirenden Pfeifenrohres Wellen, aus der Interferenz dieser Wellen nach ihrer Reflexion vom Ende des Pfeifenrohres resultirt eine stehende Schwingung und hieraus ein Ton, der in Bezug auf Höhe von der Schnelligkeit, womit die Impulse der schwingenden Zunge auf die Luft nach einander folgen, also von der Schnelligkeit des Schwingens der Zunge, aber auch von der Länge der im Pfeifenrohre schwingenden Luftsäule abhängt, mithin desto höher ist, eine je größere Elasticität und Dicke die Zunge und eine je geringere Länge ihr frei schwingendes Stück und die schwingende Luftsäule besitzt. Da der Ton einer Schnarrpfeife eigentlich aus dem Tone, den die schwingende Zunge, und aus dem Tone, den die Luftsäule in der Röhre für sich allein geben können, zusammengesetzt ist; so folgt, daß beide, Zunge und Luftsäule, in Bezug auf Schnelligkeit immer völlig übereinstimmend (synchronistisch) schwingen, weil sonst ein doppelter Ton entstehen müßte. Diese Uebereinstimmung ist nur dadurch möglich, daß die Luftsäule, deren Schwingungen zunächst durch jene der Zunge bedingt werden, auf die Zunge zurückwirkt und dieselbe entweder schneller oder langsamer schwingen macht, als dies ohnedem (bei ihrem freien Vibriren nämlich) geschehen würde. Aus dieser gegenseitigen Einwirkung zwischen Zunge und Luftsäule entspringt auch die besondere (schnarrende) Beschaffenheit, die den Tönen der Zungenpfeifen immer eigenthümlich bleibt, auch wenn bei denselben der vom Anschlagen der Zunge an die Ränder der Rinne herkommende rauhe und schreiende Charakter des Tones dadurch vermieden ist, daß ein solches Anschlagen unmöglich gemacht worden, zu welchem Behufe die Rinne des Mundstückes die Gestalt eines Parallelepipeds ab (Fig. 324) erhält, in dessen rechteckiger, von scharfen Rändern begrenzter Längenöffnung die ebenfalls

Fig. 323.

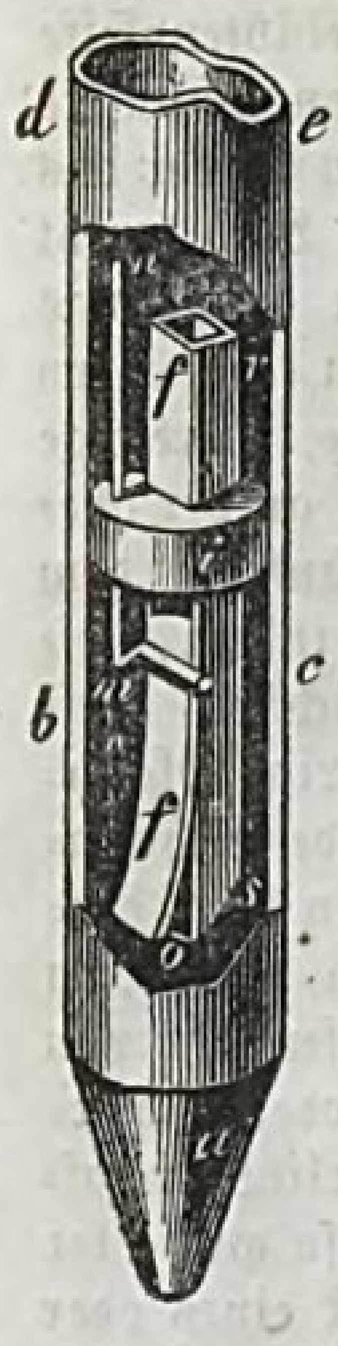


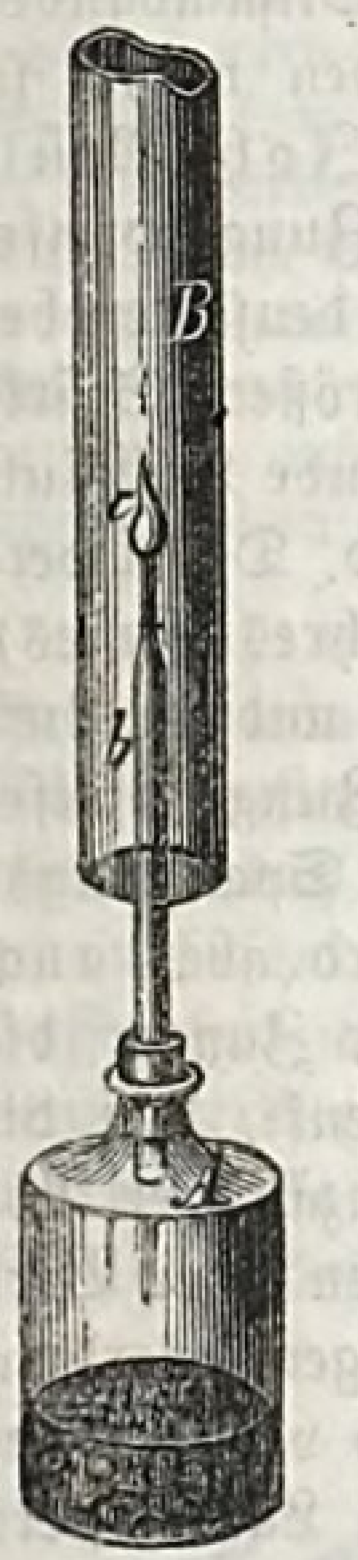
Fig. 324.



rechteckige Zunge z so eingepaßt ist, daß sie diese Oeffnung ausfüllt, beim Schwingen jedoch in die Rinne hinein- und aus derselben heraustreten kann, ohne die besagten Ränder zu berühren.

Den Schnarrpfeifen der Orgeln ähnlich sind in ihrer Einrichtung und Wirkung die Zungen-Blasinstrumente, die (wie die Clarinette, die Oboe, das Fagott und dgl.) mit dem Munde angeblasen werden. Bei allen wird die Stelle des Fußes einer Orgelschnarrpfeife von der Mundhöhle vertreten; so wie in jenem die Luft, die der Blasbalg liefert, so wird in dieser die aus der Lunge kommende Luft verdichtet und die verdichtete Luft setzt bei der Clarinette ein aus spanischem Rohre bestehendes elastisches Blatt, das auf einer Längenspalte eines schnabelartigen Mundstückes eben so wie die Zunge auf der Rinne der besagten Schnarr-Orgelpfeife aufgepaßt ist, und bei der Oboe und dem Fagotte die zwei elastischen Rohrblätter in Schwingungen, aus welchen die Mundstücke bei diesen Instrumenten bestehen. Die zwei Blätter eines solchen Mundstückes sind in der Mitte etwas ausgebogen und so mit einander vereinigt, daß sie eine schmale, ovale Spalte zwischen sich lassen, die beim Vibriren der Blätter in Folge des Anblasens abwechselnd geschlossen und wieder geöffnet wird, so daß die Luft nur in regelmäßig auf einander folgenden Zeitintervallen durchdringen, auf die Luftsäule im Instrumente Impulse üben kann und so diese in tönende Schwingungen versetzen muß. Daß dem zu Folge auch bei der Clarinette, der Oboe, dem Fagotte oder dgl. der Ton durch die Vibrationen der betreffenden elastischen Blätter, so wie bei der Schnarr-Orgelpfeife durch die Zunge, im Charakter (Klang) und in der Höhe modificirt werden müsse, bedarf keiner weitern Erwähnung.

Fig. 325.



Eben solche regelmäßig aufeinander folgende Impulse auf die Luftsäule in einer Röhre, wie mittelst der eben betrachteten Zungen und elastischen Blätter ausgeübt werden, kann auch eine Wasserstoffgas-Flamme erzeugen, und hierauf beruhen die Töne der sogenannten chemischen Harmonika. Zur Hervorrufung dieser Töne wird in eine Flasche A (Fig. 325) verkleinertes Zink und verdünnte Schwefelsäure gebracht, in den Hals mittelst eines Korkpfropfes luftdicht eine oben mit enger Ausflußöffnung versehene Glasröhre b eingesetzt, hernach das in der Flasche sich entwickelnde und bei c ausströmende Wasserstoffgas angezündet (mit diesem Anzünden muß jedoch so lange gewartet werden, bis man voraussetzen kann, daß von dem ausströmenden Wasserstoffgase alle in der Flasche vorhanden gewesene atmosphärische Luft mechanisch mit fortgerissen worden sei, weil sonst leicht eine für die Umgebung gefährliche Explosion entstehen könnte) und, wie dies die Figur anschaulich macht, über die Flamme eine 1—2 Zoll weite und einige Fuß lange Röhre B aus Glas, Holz, Pappendeckel ꝛc. gehalten. Man vernimmt dann ein intensives Tönen, welches daher kommt, daß, — indem die durch Verbrennen des Wasserstoffes in Berührung mit dem Sauerstoffe der Luft sich nach einander erzeugenden Wasserdampfmengen in Folge der bei diesem Verbrennen gleichzeitig entstehenden starken Hitze sich schnell ausdehnen, gleich darauf aber durch die Umgebung wieder abgekühlt und zu Wasser verdichtet werden und so einen leeren Raum zurücklassen — in der Luftsäule der Röhre B eben so, wie durch successives Verbrennen einer Reihe von Knallgasblasen (S. 318) eine Aufeinanderfolge von abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, d. i. Wellen erzeugt werden, aus deren Reflexion und nachher Statt findender Interferenz eine stehende, tönende Schwingung hervorgeht.

170. Das menschliche Stimmorgan. In die Classe der Zungenpfeifen gehört auch das menschliche Stimmorgan und es kommen bei demselben in physikalischer Beziehung vorzüglich die Luftröhre, der Kehlkopf und die Mundhöhle zu betrachten. Den Haupttheil, das eigentliche Organ der Stimme, bildet der Kehlkopf, d. i. eine im Hintergrunde der Mundhöhle liegende, länglich viereckige, von oben nach unten allmälig verengte Höhle (ähnlich einer hohlen, gestutzten, mit der Basis nach aufwärts gerichteten Pyramide), die durch mittelst Bänder vereinigte Knorpeln und durch zur Bewegung derselben dienliche Muskeln gebildet ist, und nach unten in die Luftröhre übergeht, d. i. eine fast cylindrische Röhre, die aus durch häutige Ringe verbundenen, knorpeligen Ringen zusammengesetzt und am untern Ende in zwei kleinere Röhren (Bronchien) getheilt ist, wovon die eine nach rechts, die andere nach links läuft und jede wieder in viele Aeste getheilt und unterabgetheilt ist, die sich nach allen Richtungen hin in das Gewebe der Lunge

verzweigen. Kehlkopf und Luftröhre sind mit einer aus der Mundhöhle bis in die Lunge fortgehenden Schleimhaut ausgekleidet. Der Kehlkopf steht mit der Mundhöhle durch eine von hinten nach vorne gerichtete nicht horizontale, sondern rasch steigende Spalte, die Stimmritze, in Communication, die durch die Ränder zweier, in einerlei Ebene und einander gegenüber liegender Membrane, der Stimmbänder, gebildet wird, welche an den Wänden des Kehlkopfes angewachsen sind, aus einem sehr elastischen Fasergewebe bestehen und durch Muskeln in verschiedenem Grade gespannt und einander mehr oder weniger genähert werden können, so daß die Stimmritze enger oder weiter wird. Ueber dem Kehlkopfe befindet sich eine platte, elastische, zungenförmige Haut, Kehldeckel genannt, die blos an der untern Seite befestigt ist, durch Erheben oder Herabsenken gegen die Stimmritze verschiedene Neigungen annehmen kann, und, wenn sie die Stimmritze bedeckt, verhindert, daß Speisen und Getränke in die Luftröhre gelangen. Wird aus der Lunge (dem natürlichen Blasbalge) durch die Luftröhre der Stimmritze Luft ohne Gewalt zugeführt, und die Stimmritze ist so erweitert, daß die Luft frei durch dieselbe passiren kann (wie dies bei dem gewöhnlichen Ausathmen der Fall ist), so entsteht kein Laut. Wird hingegen die Luft aus der Lunge mit Gewalt ausgestoßen, so erfolgt, wenn die Stimmritze weit geöffnet ist, ein regelloser Schall (wie dies beim Husten geschieht); ist aber die Stimmritze durch entsprechende Spannung der Stimmbänder hinreichend verengt, wo dann die Luft gewaltsam durchgetrieben werden muß, so entsteht ein Ton, von welchem, nach den neuesten Untersuchungen Joh. Müller's in Berlin, angenommen werden kann, daß er, wie bei einer Zungenpfeife, durch Vibriren der Stimmbänder (es wird durch Reibung der Luft an denselben bewirkt, und das gleichzeitige Vibriren beider Bänder begründet eine größere Stärke des Tones), deren Einwirkung auf die mit ihnen in Berührung stehende Luftsäule im Munde und Rückwirkung dieser letzteren auf die Blätter erzeugt wird. Dabei vertritt die Luftröhre und die Höhlung des Kehlkopfes die Stelle des Windrohres (Fußes), die Stimmbänder spielen die Rolle der elastischen Bänder oder Zungen und die Luft in der Mundhöhle repräsentirt die Luftsäule in dem Pfeifenrohre einer Zungenpfeife. Die Höhe des Tones hängt vorzüglich von der Länge und von dem Spannungsgrade der Stimmbänder ab, und ändert sich natürlich mit beiden; wird aber auch durch die Luft in der Mundhöhle, durch das Gaumensegel, die Lage der Zunge, die Stellung der Zähne u. s. w. mannigfaltig modificirt. Wenn man bedenkt, daß die Spannung der Stimmbänder von gänzlicher Schlaffheit an aufwärts unzähliger Abstufungen fähig ist, daß durch in unserer Willkür stehendes Verkürzen oder Verlängern der Stimmritze auch die Stimmbänder verkürzt oder verlängert werden, daß man durch größeres oder geringeres Oeffnen des Mundes, durch verschiedene Stellung der Zunge und Zähne die Dimensionen des schwingenden Luftkörpers mannigfaltig abändern, ferner durch völliges oder theilweises Schließen der Lippen das Stimmorgan in eine ganz oder in verschiedenen Graden theilweise gedeckte Pfeife umwandeln kann, daß endlich nach Müller's Versuchen stärkeres oder schwächeres Anblasen der Stimmbänder eine Erhöhung oder Erniedrigung des Tones bewirkt und durch das Schwingen der ganzen Stimmbänder in größeren Excursionen Brusttöne durch alleiniges Vibriren ihrer feinen Ränder aber Falsettöne erzeugt werden; so wird man die außerordentliche Mannigfaltigkeit der Töne und den großen Tonumfang, deren die menschliche Stimme fähig ist, wohl erklärlich finden.

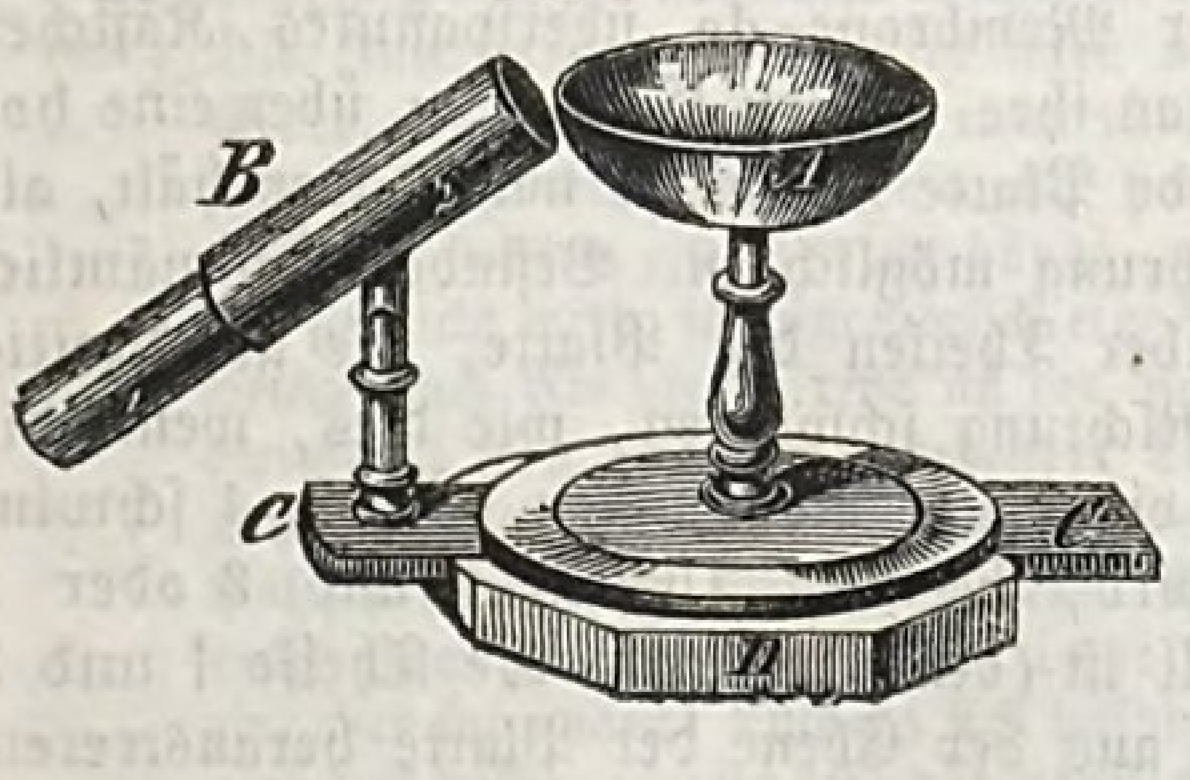
171. Resonanz. Combinationstöne. Ein tönender Körper kann seine schwingende Bewegung einem mit ihm in Verbindung stehenden andern Körper nicht nur so mittheilen, daß dieser die Bewegung blos fortpflanzt, sondern es kann der letztere Körper dadurch auch selbst zum Tönen gebracht werden, und dies wird geschehen, wenn in Folge der beschränkten Dimensionen dieses Körpers die in ihm angeregten Wellen von seinen Grenzen reflectirt werden, so daß eine Interferenz

mit nachfolgenden directen Wellen eintritt und daraus eine stehende, tönende Schwingung hervorgeht. Wirkt dann der Körper durch diese Schwingung übereinstimmend mit dem Körper, von dem sie angeregt worden, auf das umgebende Mittel ein; so werden beide Einwirkungen sich summiren, das Mittel wird dem zu Folge intensiver auf das Ohr einwirken, und es wird der ursprüngliche Ton verstärkt wahrgenommen werden. Man sagt in diesem Falle, es finde ein Mittönen, Mitklingen oder eine Resonanz Statt. In einem solchen Zustande des Mittönens oder der Resonanz werden eingeschlossene Luft und nicht zu große Massen aus Holz oder andern elastischen Stoffen versetzt, wenn damit ein tönender Körper unmittelbar oder mittelbar in Verbindung steht, und hierauf beruhen die bekannten Mittel, die gewöhnlich zur Verstärkung der Töne dort angewendet werden, wo der tönende Körper beim Schwingen der den Schall fortpflanzenden Luft eine zu geringe Fläche darbietet, als daß er hinreichend viele Theile derselben kräftig erschüttern und so durch sie stark genug auf das Ohr einwirken könnte, was vorzüglich bei Saiten, dann bei der Stimmgabel und andern dünnen elastischen Stäben und Streifen der Fall ist.

Eine Stimmgabel, welche, nach dem Anschlagen frei in der Luft gehalten, einen kaum hörbaren Ton gibt, tönt, wenn sie mit dem Stiele auf eine Tischplatte oder einen andern elastischen Körper aufgesetzt oder mit einer Zinke vor die Oeffnung einer Röhre, des Mundes u. s. w. gehalten wird (in Folge der Resonanz der Tischplatte, der Luftmasse in der Röhre, in dem Munde u. s. w.), viel stärker und wohl vernehmlich. Bei der sogenannten Maultrommel und bei der Windharmonika gewinnen die Töne der schwingenden elastischen Plättchen erst durch das Mittönen der Luft (bei ersterem Instrumente) im Munde und (bei letzterem) in dem Kasten, dessen eine Wand die besagten Plättchen eingesetzt enthält, erst die gehörige Stärke, und bei den Saiteninstrumenten ist es das Holz der Resonanzböden oder der Resonanzkästen, über welchen die Saiten aufgespannt sind, und die in diesen Kästen eingeschlossene Luft, welche durch Mitklingen den an und für sich sehr schwachen Tönen der Saiten die erforderliche Stärke verleihen.

Da, wie wir eben gehört haben, die Verstärkung des Tones eines Körpers durch Mittönen eines andern ein übereinstimmendes Schwingen und eine ganz im Einklange stehende Einwirkung beider Körper auf das Schallmittel voraussetzt, so erhellet, daß bei den zur Resonanz bestimmten Massen die Dimensionsverhältnisse und insbesondere die Längen keinesfalls gleichgiltig sind, sondern vielmehr so beschaffen sein müssen, daß diese Massen zu Folge Einwirkung der tönenden Körper sich (etwa durch passende Unterabtheilung) in mit den Schwingungen dieser Körper übereinstimmende Schwingungsweisen zu versetzen vermögen. Man kann sich von der Richtigkeit dessen am besten mittelst einer Glocke A (Fig. 326) überzeugen, welcher zur Seite eine aus zwei in einander verschiebbaren Stücken 1, 2 bestehende Röhre so angebracht ist, daß man (z. B. vermittelst eines im Gestelle D verschiebbaren Stückes C) ihre Oeffnung nach Belieben der Glocke nähern oder von derselben entfernen kann. Wird diese durch Streichen mit einem Violinbogen tönen gemacht und so lange gewartet, bis der anfangs starke Ton kaum mehr vernehmbar geworden, und man bringt nachher die Oeffnung der Röhre B vor die Glocke, so erscheint der Ton dieser letzteren (zu Folge Mittönens der Luftsäule in B) wieder recht laut und zwar am lautesten, wenn dieser Luftsäule durch entsprechendes Auseinanderziehen der beiden Röhrenstücke 1, 2 eine bestimmte Länge gegeben wurde. Der eben erörterte Einfluß der Dimensionen auf die Wirkung resonirender Körper ist bei Construction der Resonanzböden wohl zu berücksichtigen und enthält den Grund, warum diese oft nicht

Fig. 326.

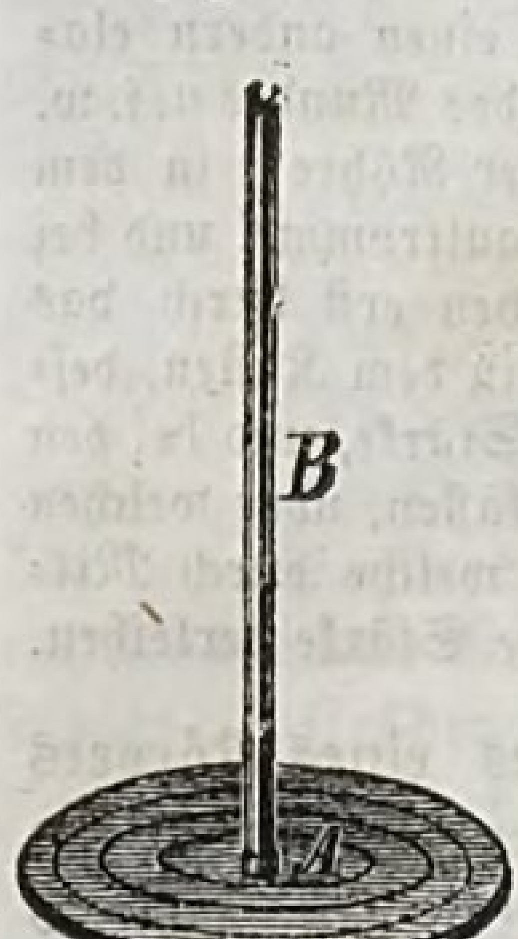


alle Töne des betreffenden Instruments in gleichem Grade zu verstärken vermögen u. s. w.

Der mitklingende Körper kann auch auf den ursprünglich tönenden zurückwirken und dessen Schwingungsweise modificiren, so daß beide zusammen ein tönendes System ausmachen, wie wir dies schon vorne bei den Zungenpfeifen gesehen haben und wie die bekannte Erfahrung außer Zweifel stellt, daß die Beschaffenheit und Stärke des Tones einer Trompete, eines Hornes u. dgl. von dem Materiale des Instruments und dem Grade seiner Härtung abhänge, so wie, daß bei der Flöte und den Orgelpfeifen eine bloße Aenderung in dem Materiale (dem Holze, dem Beine, dem Zinne u. s. w.) das Instrument bedeutend verbessern oder verschlechtern könne.

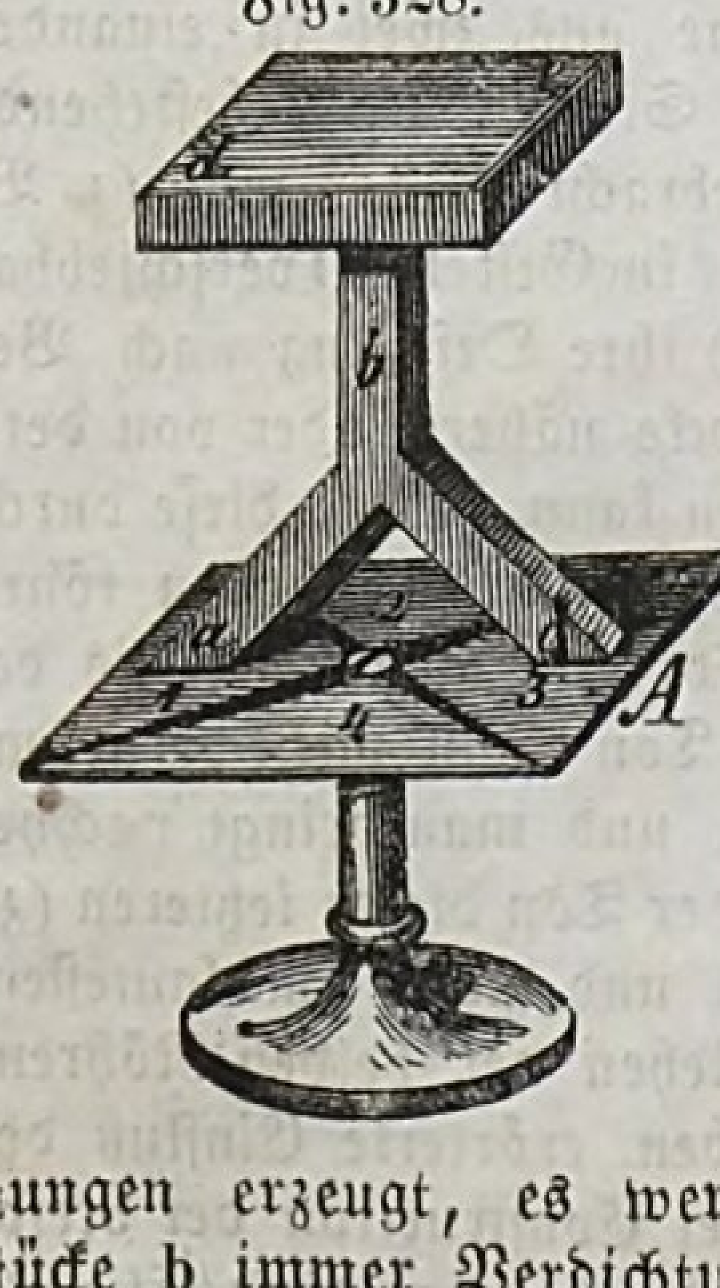
Zu weiterer Bestätigung und Beleuchtung des im Vorhergehenden über das Mittönen Gesagten sollen noch folgende Erscheinungen hier angeführt werden: Eine in der Nähe eines Claviers hängende Violine klingt deutlich mit diesem (indem die Schwingungen der Saiten des ersteren auf jene der letzteren durch die Luft übertragen werden). Verbindet man die Resonanzböden zweier über einander (z. B. im ersten und zweiten Stockwerke eines Hauses) stehenden Claviere vermittelst eines hölzernen oder metallenen Stabes; so hört man durch dessen Vermittlung die auf dem einen Claviere angeschlagenen Töne ganz deutlich auch auf dem andern. In Orchestern, wo sich unter dem Fußboden ein hohler Raum befindet (wie in den Theatern Italiens) und der Fußboden nur in wenigen Punkten mit dem Gebäude verbunden ist, haben die musikalischen Instrumente vermöge Resonanz dieses Bodens und der im hohlen Raume darunter befindlichen Luft eine auffallend starke Wirkung, und in manchen Lokalitäten nimmt sich wegen des Mitklingens daselbst vorhandener Gegenstände die menschliche Stimme und die Musik besonders stark und voll aus. (Oft kömmt dies auch daher, daß die von hinreichend nahen Körpern reflectirten Schallwellen mit den direct zu unserem Gehöre gelangenden zusammenfallen und so beide vereinigt auf dieses einwirken.) Schraubt man im Mittelpunkte einer größeren Metallscheibe A (Fig. 327) senkrecht auf ihre Ebene einen Holzstab B fest und setzt diesen nach vorhergegangenem Aufstreuen von Sand auf die Scheibe durch Reiben mittelst eines mit Kolophoniumpulver bestreuten Leder- oder Tuchlappens in tönende Schwingungen; so klingt die Scheibe mit, was durch Entstehung einer Klangfigur auf ihr beurkundet wird.

Fig. 327.



Das Mitklingen kömmt bei einem desselben sonst fähigen Körpers nicht zu Stande, wenn auf ihn von einem tönenden Körper gleichzeitig entgegengesetzte Bewegungszustände, die sich beim Zusammentreffen (Interferiren) aufheben, übertragen werden. Dies zeigt sich deutlich an einer zweiarmigen Röhre abc (Fig. 328) aus dünnem Holze oder Pappendeckel, die oben ein mit Papier oder einer Membrane de überspanntes Käftchen trägt, wenn man ihre offenen Ende a, c über eine horizontale tönende Platte A und so nahe daran hält, als es ohne Berührung möglich ist. Befinden sich nämlich diese Enden über Theilen der Platte, die gleichzeitig nach einerlei Richtung schwingen, wie dies, wenn die Platte z. B. in vier Unterabtheilungen 1, 2, 3, 4 schwingen gemacht wird, bei den Theilen 1 und 3 oder 2 und 4 der Fall ist (denn während die Theile 1 und 3 nach aufwärts aus der Ebene der Platte heraustreten, thun dies die Theile 2 und 4 nach abwärts und umgekehrt); so werden in der von der Röhre abc eingeschlossenen Luftsäule an beiden Enden a und c gleichzeitig einmal Verdichtungen und das andere Mal Verdünnungen erzeugt, es werden beim Fortschreiten dieser Wellen in dem Röhrenstücke b immer Verdichtung mit Verdichtung und Verdünnung mit Verdünnung

Fig. 328.



zusammentreffen, sich verstärken und so, bei der Membrane de anlangend, dieselbe in tönende Schwingungen versetzen, was, wenn sie mit Sand bestreut ist, durch die Entstehung einer Klangfigur außer Zweifel gestellt wird. Zugleich wird zu weiterem Beweise für das Stattfinden eines Mitklingens der Luft und der Membrane deutlich eine Verstärkung des Tones der Platte vernehmlich sein... (I). Hält man aber die Röhrenenden a, c über die Plattenabtheilungen 1, 2 oder 3, 4, in welchen die Theilchen gleichzeitig nach entgegengesetzten Richtungen schwingen; so erfährt die Luft in a eine Verdichtung, wenn in c eine Verdünnung entsteht und umgekehrt, es treffen beim Fortschreiten der Wellen im Röhrenstücke b gleichzeitig immer Verdichtungen mit gleich großen Verdünnungen zusammen *) und es kann, da diese sich aufheben, also in der Luftsäule b natürlicher Dichtigkeits- (Ruhe-) Zustand hergestellt wird, auch die Membrane nicht in Bewegung gesetzt werden. In der That bleibt in diesem Falle der Sand auf der Membrane ganz in Ruhe, und man bemerkt auch nicht die geringste Verstärkung des Tones der Platte. Wären die in b gleichzeitig zusammentreffende Verdichtung und Verdünnung nicht gleich groß; so könnte eine die andere nicht aufheben, sondern nur schwächen, und es müßte ein Mitklingen und ein Schwingen der Membrane, aber in geringerem Grade als im Falle (I), Statt finden **). — Sowie die Luftsäule in der Röhre b, je nachdem auf sie von der tönenden Platte A abwechselnd gleichzeitig zwei Verdichtungen und zwei Verdünnungen oder eine Verdichtung und zugleich eine Verdünnung und umgekehrt übertragen werden, auf die Membrane de stärker oder schwächer einwirkt, als wenn immer nur eine dieser zwei Verdichtungen und Verdünnungen auf die andere folgte, so muß auch die Luft im Ohre mit größerer oder geringerer Intensität auf dieses einwirken, je nachdem die von zwei tönenden Körpern dem Ohre zugesendeten Wellen an demselben gleichzeitig beide mit den Verdichtungen (oder Verdünnungen) anlangen, oder immer die eine mit der Verdichtung, die andere mit der Verdünnung und umgekehrt eintrifft. Auf diese Art entsteht, wenn zwei verschieden hohe, also nicht durch gleichzeitige (isochrone) Schwingungen erzeugte Töne länger fortwähren, jenes periodische Anschwellen und Abnehmen derselben, welches man das Schweben heißt. Folgen die Momente, in welchen die Einwirkung beider Wellen auf das Ohr am meisten übereinstimmend, also am stärksten ist, schnell genug auf einander; so erscheinen demselben diese stärkeren Einwirkungen als eine eigene Reihe von Stößen, und man vernimmt einen von den besagten zwei Tönen verschiedenen Ton,

---

*) Eine Verdichtung und eine Verdünnung sind gleich groß, will so viel sagen, als die Abweichung von der normalen Dichte ist in beiden gleich stark.

**) Die Interferenz des Schalles wird nach A. Seebeck auch recht gut durch folgendes Experiment dargethan. Auf einer runden hölzernen, mit Blei beschwerten Scheibe von etwa 7" Durchmesser, die um eine horizontale Axe mittelst einer um diese gewundenen Schnur, woran ein Gewicht hängt, und durch ein paar Windflügel gleichförmig rotiren gemacht wird, ist concentrisch eine Pappscheibe von etwa 12" Durchmesser festgemacht, welche nach Art der Sirene an der Peripherie eine kreisförmige Reihe gleich großer und gleichweit von einander abstehender Löcher von etwa 2‴ Durchmesser enthält. Richtet man gegen diese Löcherreihe von den beiden entgegengesetzten Seiten der Scheibe her zwei Röhren (etwa aus Glas und deren Mündungen etwas enger sind, als die Löcher) senkrecht gegen die Scheibe, so daß beide Röhren vor zwei verschiedenen (etwa zunächst nach einander folgenden) Löchern sich befinden und bläst nun mit jeder einzeln gegen die rotirende Scheibe, so gibt jede den nämlichen Ton; bläst man aber mit beiden zugleich (mit aus einer Windlade kommenden gleichstarken Luftströmen), so verschwindet der Ton, indem die beiderlei Luftstöße ihrer entgegengesetzten Richtung wegen (zwar nicht am Orte ihrer Entstehung, wohl aber bei ihrer Fortpflanzung und im Ohre des Beobachters) sich gegenseitig aufheben. Stellt man dagegen die Röhren so auf, daß, während die eine vor einem Loche steht, die andere mit ihrer Mündung dem Zwischenraum dieses und des nächst folgenden Loches gegenüber sich befindet, ihre Stöße also nicht gleichzeitig, sondern alternirend erfolgen, so hört man den ursprünglichen Ton und zwar verstärkt.

den man Combinationston nennt. So hört man z. B. beim Zusammentönen eines tieferen Tones und seiner nächst höheren Quinte als Combinationston zugleich seine nächst tiefere Octave. Die Combinationstöne, deren Entdeckung dem Tonkünstler Tartini zugeschrieben wird, lassen sich am leichtesten auf der Orgel wahrnehmen. Wenn die beiden Töne, die gleichzeitig angeschlagen werden, der Höhe nach einander so nahe liegen, daß das Zusammentreffen ihrer Schwingungen seltener als 32 Mal in der Sekunde erfolgt, so verwandelt sich ihr Combinationston in einzelne durch wirkliche Zwischenzeiten getrennte Schläge und die Reihe dieser aufeinander folgenden Schläge erscheint einem Trommelwirbel ähnlich.

Zweite Abtheilung.

Von den unwägbaren Stoffen.

I. Abschnitt.

Vom Magnetismus.

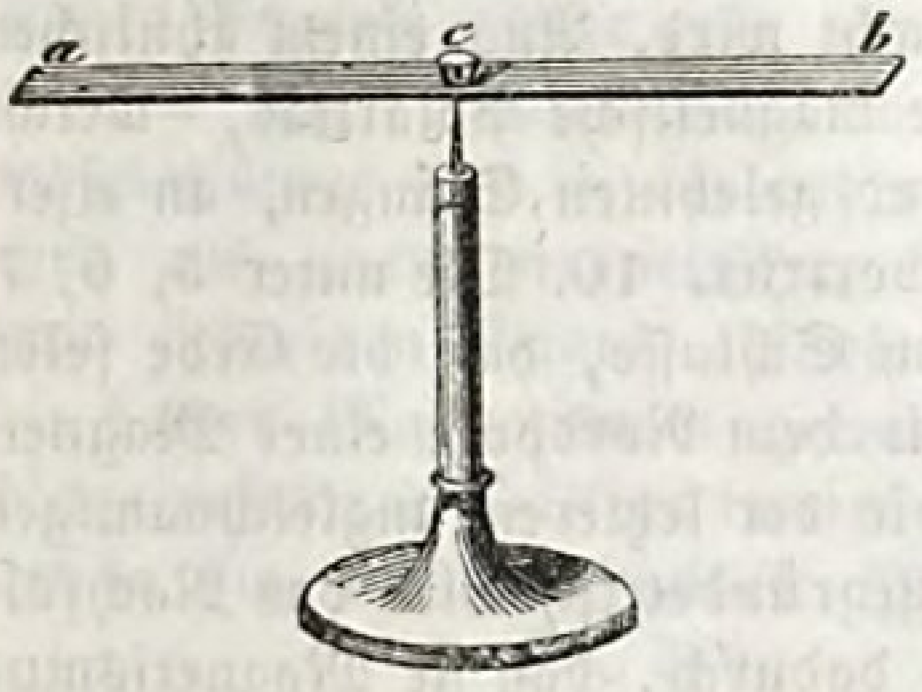
172. Begriff des Magnetismus. Magnete. Manche Körper sind eines Zustandes fähig, in welchem sie die Eigenschaft besitzen, Eisen mit einer gewissen Kraft anzuziehen und festzuhalten (zu tragen). Man nennt diesen Zustand den magnetischen Zustand oder Magnetismus, die Körper, die sich darin befinden, Magnete oder magnetisch, und die anziehende Kraft, die sie gegen das Eisen äußern, magnetische Kraft oder ebenfalls Magnetismus. (Die weitere Ausdehnung, welche man den Begriffen: Magnetismus, Magnet und magnetische Kraft geben muß, kann erst aus dem Nachfolgenden klar werden.) Seit den ältesten Zeiten weiß man, daß gewisse Eisenerze schon von Natur aus magnetisch sind, und heißt sie deswegen natürliche Magnete oder Magnetsteine. Man kann den Magnetismus aber auch durch Kunst hervorrufen und erhält dann die sogenannten künstlichen Magnete, welche an Stärke (der Anziehungskraft gegen Eisen) die natürlichen Magnete, die immer nur im Verhältniß zu ihrer Größe ganz kleine Eisenmassen zu tragen vermögen, weit übertreffen und, wenn sie die ihnen gegebene Stärke möglichst unverändert und lange behalten sollen, am besten aus Stahl von gehöriger Beschaffenheit und Härte erzeugt werden. Dem weichen (kohlenstofffreien) Eisen läßt sich ebenfalls und zwar sehr leicht und sehr kräftiger Magnetismus ertheilen; derselbe verschwindet aber augenblicklich wieder, sobald das Mittel, wodurch er erzeugt worden, zu wirken aufhört. Gußeisen nimmt dauernden Magnetismus nur schwer und nur in geringerem Grade an. So wie das Eisen (und der Stahl) werden auch Nickel, Kobalt, Chrom und Mangan von dem Magnete angezogen. Es heißen die genannten Metalle deswegen magnetische Metalle, und nach Faraday's neuesten Untersuchungen gehören zu denselben auch noch Platin, Palladium, Titan, Cerium und Osmium. Eine große Zahl anderer magnetischer Körper werden uns später folgende Paragraphe kennen lehren.

173. Nähere Betrachtung der Erscheinungen, welche Magnete darbieten. 1. Bringt man einen Magnet mit Eisen in Berührung, so haften beide aneinder. Ist er stark genug und wird ihm das Eisen in seiner Stärke angemessenen kleinen Stücken hinreichend nahe gebracht, so zieht er dasselbe gegen sich hin und die Anziehung findet auch dann noch Statt, wenn zwischen dem Magnete und den Eisenstücken andere, fremdartige Substanzen (Glas, Holz u. s. w.) enthalten sind, vorausgesetzt, daß diese Substanzen selbst nicht des Magnetismus fähig sind und daß der Magnet durch ihre Dazwischenkunft nicht zu weit von den Eisenstücken entfernt wird. Auf der Anzie-

hung der Magnete gegen Eisen, Stahl u. s. w. beruht die Anwendung der ersteren, um Theile der letztgenannten Metalle hinter Glas, Holz oder dgl. in Bewegung zu setzen oder, wenn sie mit andern nicht magnetischen Theilen vermengt sind, davon abzuscheiden *). 2. So wie gegen Eisen, nur in einem anderen Grade, verhalten sich die Magnete auch gegen die übrigen magnetischen Metalle. (Von der in neuester Zeit außer Zweifel gestellten Einwirkung, welche die Magnete auch auf die andern Stoffe üben, kann erst später die Rede sein.) 3. Die magnetische Kraft hat nicht an allen Stellen des Magnetes dieselbe Größe und Richtung. Die Verschiedenheit der Größe wird durch die Ungleichheit der Mengen Eisens (in Gestalt von Feilspänen, Draht oder andern Stücken) dargethan, die der Magnet an verschiedenen Stellen zu tragen vermag, oder, nach Kolke, durch die Kraft, welche zum Losreißen eines nach und nach an verschiedenen Stellen des Magnetes zum Anhaften gebrachten cylindrischen Eisenstäbchens erforderlich ist, und mittelst einer Wage, woran das Stäbchen hängt, geschätzt wird . . . (†); und die Verschiedenheit in der Richtung der magnetischen Kraft folgt aus dem Umstande, daß, wenn man eine dünnwandige Glaskugel, worin ein Stückchen feinen Eisendrahtes liegt, über die Oberfläche eines Magnetes hinführt, das Drahtstückchen sich an einigen Punkten gegen diese Fläche normal, an andern schief stellt und wieder an andern Punkten liegen bleibt. Die normale Position findet in der Regel nur an zwei einander entgegengesetzt liegenden Stellen Statt, und dort zeigt der Magnet auch zugleich die größte Tragkraft; man nennt diese Stellen die Pole des Magnets. 4. Ein kurzes Eisenstängelchen erlangt, wenn man es mit einem Magnetpole in Berührung oder falls der Magnet stark genug ist, diesem Pole nur in die Nähe bringt, dadurch das Vermögen, ein zweites solches Eisenstängelchen zu tragen; an letzteres läßt sich bei stärkerer Kraft des Magnetes ein drittes, an dieses wieder ein viertes u. s. f. hängen, zum Beweise, daß die Eisenstängelchen selbst magnetische Kraft erhalten haben. Bei aus Stahl verfertigten künstlichen Magneten, denen man die Gestalt gerader oder hufeisenförmig gebogener Stäbe gibt, und welche, — da sie weit kräftiger und in der besagten Gestalt für die Darstellung der magnetischen Erscheinungen, so wie für die Anwendung viel geeigneter sind, als die natürlichen Magnete, — von nun an allein im Auge behalten werden sollen, liegen die Pole an den Enden (vorausgesetzt, daß der Magnet, wie dies meistens geschieht, durch Streichen des betreffenden Stahlstabes mit einem andern Magnete in einer Weise, die später beschrieben werden wird, erzeugt worden). 5. Macht man einen geraden Magnetstab um eine zwischen seinen Polen hindurchgehende vertikale Axe leicht drehbar, so wendet er sich stets mit einem und demselben Pole gegen Norden und mit dem andern gegen Süden; man nennt deswegen ersteren den Nordpol und letzteren den Südpol des Magnetstabes. Am leichtesten zeigt sich diese Eigenschaft der Magnetpole an einer in den magnetischen Zustand versetzten (magnetisirten) Stahlnadel, welche, wie ab (Fig. 329) in der Mitte ein Hütchen c hat, womit sie auf einer Spitze in horizontaler Ebene

*) Ein Magnet, mit dem z. B. in einem Gemenge von Eisen-, Messing- und Kupfer-Feilspänen herumgewühlt wird, zieht alles Eisen an sich und läßt die andern Metalle zurück. Mit einem Magnete lassen sich die Eisentheilchen, die, von den Maschinen kommend, im Papierzeuge oft so häufig enthalten und die Ursache der auf dem fertigen Papiere entstehenden Rostflecken sind, leicht entfernen; und sehr wichtig ist die Anwendung von Magneten, um den Arbeitern in Nadel-, Maschinen- oder andern Fabriken u. dgl. in die Augen gekommene Eisentheilchen herauszuziehen oder um auf die aus Stahldraht bestehende Maske der Nadelschleifer so zu wirken, daß sie den Stahlstaub anzieht, und so das gesundheitsgefährliche Einathmen desselben verhindert.

Fig. 329.



sehr leicht beweglich aufsitzt und dann den Namen Magnetnadel führt, den man übrigens auf jeden um eine fixe Axe drehbaren Magnetstab auszudehnen pflegt. 6. Nähert man dem Nordpole eines beweglichen Magnetstabes den Nordpol eines andern, so wird ersterer von letzterem (und umgekehrt) abgestoßen, und ein gleiches gegenseitiges Verhalten zeigen auch die Südpole der zwei Magnete, während hingegen der Südpol des einen von dem Nordpole des andern und umgekehrt angezogen wird. Dem zu Folge muß sich eine frei bewegliche Magnetnadel einem, z. B. von obenher ihr genäherten Magnetstabe immer parallel und so stellen, daß beide nach der nämlichen Seite hin ungleichnamige Pole kehren. Es läßt sich dieses Verhalten der Pole kurz in dem Satze zusammenfassen: Gleichnamige Magnetpole stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an. Man nennt die sich anziehenden Pole auch freundschaftliche und die einander abstoßenden feindschaftliche Pole . . . . (111)

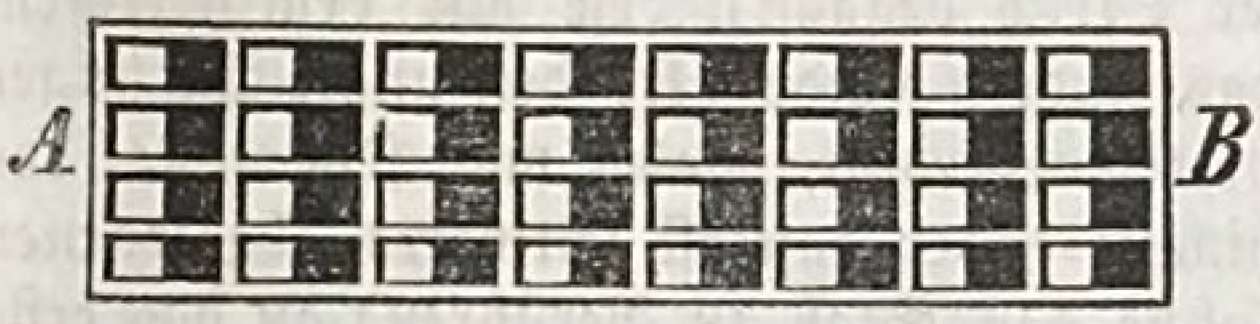
Hiernach erkennt man mit Hilfe einer Magnetnadel leicht, ob ein Körper magnetische Polarität besitze und ob ein Pol ein Nordpol oder ein Südpol sei. Ist nämlich in dem fraglichen Körper Polarität vorhanden, so muß er, der Magnetnadel hinreichend nahe gebracht, wenigstens an einem seiner Punkte Abstoßung gegen einen Pol derselben äußern, und der abstoßende Punkt besitzt dann die mit dem abgestoßenen Pole gleichnamige Polarität; eine bloße Anziehung zwischen dem Körper und der Magnetnadel zeigt blos, daß ersterer sich wie weiches Eisen verhalte. 7. Hängt man einen Stahlstab in seinem Schwerpunkte horizontal auf, so daß er, wenn man ihn nach was immer für einer Seite hin dreht, überall in horizontaler Lage ruht, und man magnetisirt ihn nachher, so nimmt er eine bestimmte Ruhe- (Gleichgewichts-) Stellung an, in die er, wenn man ihn aus derselben herausbringt, immer wieder zurückkehrt, und in welcher sein Nordpol nicht nur nach Norden gewendet, sondern auch abwärts gesenkt ist, so daß der Stab mit dem Horizonte einen Winkel bildet, der die magnetische Neigung (magnetische Inclination) genannt wird, und für Wien nahe 65° beträgt. Die Vertikalebene, in welcher die Pole des in der bezeichneten Gleichgewichtsstellung befindlichen Magnetstabes liegen, heißt der magnetische Meridian und schneidet den geographischen Meridian des betreffenden Ortes unter einem Winkel, welcher die magnetische Abweichung (magnetische Declination) heißt. Diese zeigt sich in gleicher Art auch an jedem nur in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabe, geht in Wien nach Westen hin und beträgt daselbst jetzt nahe 15 Grad. 8. Ist eine Magnetnadel um eine durch ihren Schwerpunkt gehende Axe nur in einer Ebene beweglich, welche auf der Verbindungslinie der Pole eines in seinem Schwerpunkte frei aufgehängten Magnetstabes senkrecht steht, und magnetischer Aequator genannt wird, so bleibt die Nadel in jeder Lage, in die man sie durch Drehung um ihre Axe bringt, in Ruhe, und heißt astatisch. 9. Bringt man eine Stange von weichem Eisen nahe genug an einen kräftigen Magnetstab, so zeigt das Ende, welches einem der Pole dieses letzteren am nächsten ist, den mit diesem Pole ungleichnamigen und das andere den gleichnamigen Pol. Hält man die besagte Stange im magnetischen Meridiane gegen den Horizont unter einem der Inclination des Ortes gleichen Winkel geneigt, so erscheint sie ebenfalls magnetisch; es hat (in Wien und fast auf der ganzen nördlichen Halbkugel der Erde) ihr unteres Ende einen Nord-, und ihr oberes einen Südpol. Die nämliche Polarität, nur im geringeren Grade, nimmt die Stange auch in jeder andern Lage an, nur allein in der Ebene des magnetischen Aequators zeigt sie keinen Magnetismus; dieser erscheint übrigens desto

schwächer, je weiter die Stange aus der vorbezeichneten Lage im magnetischen Meridiane entfernt und jener im Aequator nahe gebracht wird. Aus einem ähnlichen Verhalten auch anderer Eisenmassen erklärt sich die magnetische Polarität, welche an eisernen Gegenständen, z. B. an gegen eine Wand gelehnten Stangen, an eisernen Säulen, Oefen u. dgl. oft sehr auffallend hervortritt. 10. Die unter 5, 6, 7, 8 und 9 angegebenen Erscheinungen führen zu dem Schlusse, daß die Erde selbst wie ein Magnet wirke und gegen Norden einen mit dem Nordpole einer Magnetnadel, gegen Süden hin aber einen mit dem Südpole der letzteren ungleichnamigen magnetischen Pol besitze. (Inwiefern dieser Schluß gegründet ist, wird das Nachfolgende lehren.) 11. Eisen, Stahl u. s. w. erfahren dadurch, daß sie Magnetismus annehmen, keine Aenderung ihres Gewichtes, und ein Faden, woran ein solcher Körper hängt, wird nach dem Magnetisiren dieses letzteren so wie vorher in vertikaler Richtung gespannt. 12. Ein Magnet verliert dadurch, daß man durch Streichen eines Stahlstabes u. dgl. mit demselben diesen Stab u. s. w. magnetisirt, weder an Gewicht, noch an magnetischer Kraft, erleidet überhaupt keine Aenderung seines Zustandes. 13. Zerbricht man einen Magnetstab in beliebig viele Stücke, so zeigt jedes derselben einen Nord- und einen Südpol; jenen an dem Ende, welches, so lange der Stab noch ganz war, seinem Nordpole zugekehrt gewesen, und diesen an dem entgegengesetzten Ende. Legt man die Stücke in der ursprünglichen Ordnung an einander, so wirken sie zusammen wieder wie der Stab vor dem Zerbrechen.

174. Theoretische Ansicht der magnetischen Erscheinungen. Die im Punkte 13 des vorigen Paragraphes angeführte Erfahrung, daß, man mag einen Magnet (durch Zerschlagen oder dgl.) in noch so kleine Theile zerlegen, jedes dieser letzteren für sich einen (mit ungleichnamigen Polen versehenen) Magnet darstellt, nöthigt uns, die Ursache der Polarität jedes Magnets in der Polarität von Theilchen desselben zu suchen, die, wenn sich ihre Größe auch nicht bestimmt angeben läßt, doch jedenfalls für unsere Sinne verschwindend klein angenommen werden müssen, und die man magnetische Elemente zu nennen pflegt. Da ferner nach Punkt 12 in **173** Stahl, Eisen oder andere des Magnetismus fähige Körper beim Streichen oder Berühren mit einem Magnete aus dem unmagnetischen (natürlichen) Zustande in den magnetischen übergehen, ohne daß der Magnet deshalb eine Aenderung seiner Kraft oder seines Zustandes erfährt; so muß der objective Grund des Magnetischwerdens der betreffenden Körper schon ursprünglich in denselben gelegen sein und durch die von außen her einwirkende Kraft des Magnets blos geweckt werden. Fast allgemein sieht man als diesen Grund einen eigenen Stoff an, und ist, um die magnetischen Erscheinungen erklären zu können, genöthigt anzunehmen: 1. Dieser Stoff sei unendlich fein und unwägbar, er sei ein Gemenge der Theilchen zweier ungleichartiger Materien (magnetischer Materien, Magnetismen), wovon die eine der nördliche oder positive und die andere der südliche oder negative Magnetstoff (Magnetismus) genannt wird. 2. Zwischen den Theilchen gleichartiger Magnetismen (des Nord- und Nordmagnetismus oder des Süd- und Südmagnetismus) herrsche Abstoßung, zwischen jenen ungleichartiger Magnetismen aber Anziehung. 3. Die Theilchen jedes der beiden Magnetismen seien mit den Körpermolekeln der Magnete durch Anziehung fest verbunden; denn sonst könnte ein Magnet in einem andern nur die magnetischen Materien und nicht auch zugleich ihn selbst (seine Masse) in Bewegung setzen. 4. Jeder Körper enthalte von beiden Magnetismen gleichviel und befinde sich im natürlichen Zustande, wenn die beiden Magnetismen darin gleichförmig gemengt sind, weil dann die Action eines jeden Theilchens der positiven Materie durch die gleiche und entgegengesetzte Action eines daneben vorhandenen Theilchens der negativen Materie aufgehoben wird. 5. Durch die Operation des Magnetisirens (indem man mit dem zu magnetisirender Körper einen Magnet in Berührung oder Annäherung bringt)

werde eine Trennung (Vertheilung) der ungleichartigen Theilchen des Magnetstoffes bewirkt, diese geht aber immer nur innerhalb jedes magnetischen Elementes vor sich, so daß der Nordmagnetismus in die eine Hälfte desselben, der Südmagnetismus aber in die andere Hälfte wandert, und nie könne ein solches Theilchen aus einem magnetischen Elemente in ein anderes übertreten. Demnach muß man sich einen Magnet als ein Aggregat kleiner Theilchen vorstellen, deren jedes die beiden Magnetismen getrennt enthält und in deren nach einer und derselben Seite gekehrten Hälften immer gleichartiger Magnetismus vorhanden ist, wie dies der in Fig. 330 abgebildete Magnetstab **A B** anschaulich macht, wo die halb weiß und halb schwarz gezeichneten Rechtecke die besagten kleinen Theilchen (die magnetischen Elemente) und die weißen Hälften die Sitze der einen, die schwarzen Hälften hingegen die Sitze der andern magnetischen Materie darstellen.

Fig. 330.



Man sieht, daß dieser Anordnung zu Folge ein Magnet an seinen Enden immer entgegengesetzte Magnetismen zeigen müsse. Auch erhellt aus dem Vorstehenden, daß jeder Anziehung eines unmagnetischen Körpers durch einen Magnet stets eine Vertheilung der Magnetismen in ersterem vorhergehe, und daß z. B. Eisen von einer Stelle eines Magnetes nur deswegen angezogen werde, weil diese durch den an ihr freien Magnetismus in dem angenäherten Eisen eine Trennung der magnetischen Materien verursacht, auf die in dem näheren Ende der Eisenmasse hervortretende freundschaftliche Materie mit größerer Kraft anziehend als auf die in dem entfernteren Ende freie feindschaftliche abstoßend wirkt und die angezogene Materie die Eisenmolekel nicht verlassen kann, diese also mit sich nehmen muß. Ferner begreift man, daß ein mit einem Magnete in Berührung gebrachtes Stängelchen aus weichem Eisen nur insofern ein zweites solches Stängelchen und dieses wieder ein drittes u. s. f. tragen könne (Punkt 4. S. 350), als diese Stängelchen vorher durch Vertheilung ihrer Magnetismen (im ersten Stängelchen bewirkt diese Vertheilung der Magnet, im zweiten das erste u. s. w.) selbst zu Magneten geworden sind. Endlich 6. muß angenommen werden, jeder Körper widerstrebe der Trennung der in ihm vorhandenen magnetischen Materien mit einer gewissen Kraft, die man Coercitivkraft heißt, deren Größe von der materiellen Beschaffenheit und von der Temperatur des betreffenden Körpers abhängt und der die Eigenschaft zugeschrieben wird, in dem nämlichen Maße, in welchem sie sich der Trennung der Magnetismen widersetzt, auch nach erfolgter Trennung deren Wiedervereinigung zu verhindern. Die Ursache, warum weiches Eisen so leicht magnetisch wird, nach Entfernung des Magnetisirungsmittels aber augenblicklich wieder in den natürlichen Zustand zurücktritt, während der Stahl den Magnetismus desto schwerer annimmt, denselben aber nachher um so länger behält, eine je größere Härte er besitzt, ist nur in der verschiedenen Größe der Coercitivkraft dieser Körper zu suchen, welche beim Eisen, wenn nicht Null, doch sehr gering, beim Stahle hingegen sehr bedeutend ist, und mit dessen Härte zunimmt. Wenn ein Körper, z. B. Holz, Glas u. s. w. sich nicht magnetisch machen läßt, so kömmt dies nicht etwa daher, daß er die magnetischen Materien nicht enthält, sondern der Grund liegt darin, daß man durch die bisher bekannten Magnetisirungsmethoden die Coercitivkraft nicht zu überwinden vermag.

Die Ursache, warum Eisen schon durch Rosten, Stahl durch bloßes Hämmern, Feilen, Biegen und stählerne Werkzeuge schon durch den Gebrauch allein magnetisch werden, liegt in der Veränderung, welche die Coercitivkraft durch chemische und mechanische Wirkungen erfährt, so, daß nachher der vertheilende Einfluß des Erdmagnetismus Platz greifen kann.

175. Erzeugung künstlicher Magnete. Wie schon vorn einmal erwähnt wurde, werden künstliche Magnete (wenigstens in den meisten Fällen) aus

geraden oder hufeisenförmig gekrümmten Stahlstäben erzeugt. Es geschieht dies am einfachsten und häufigsten durch Streichen derselben mit bereits fertigen künstlichen Magneten, und man kann hiebei vorzüglich zweierlei Verfahrungsarten beobachten, welche die Namen: einfacher Strich und Doppelstrich führen.

Magnetisiren eines geraden Stabes durch den einfachen Strich. Zu diesem Behufe wird auf das eine Ende des betreffenden, horizontal gelegten Stahlstabes **AB** (Fig. 331) ein Pol **N** eines vertikal gehaltenen Magnetes **M** aufgesetzt, dann in ununterbrochenem, gleichförmigem und langsamen Zuge

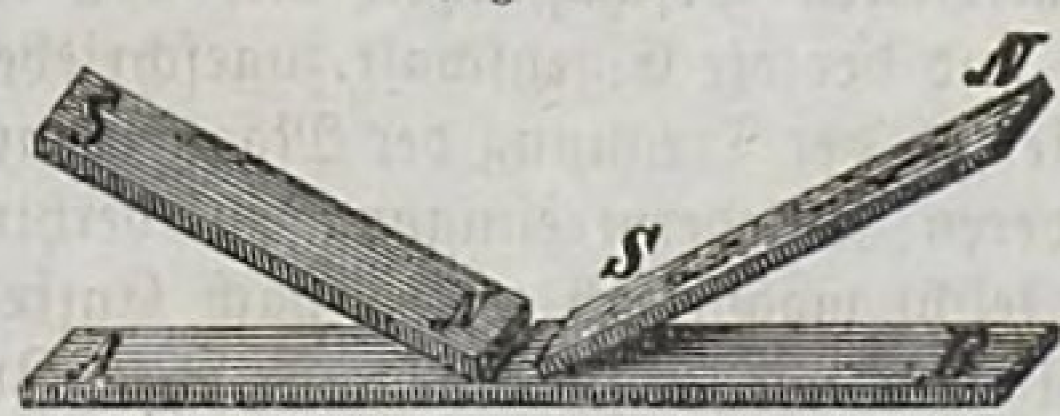
Fig. 331.



an das andere Stabende (**B**) hingeführt und daselbst entweder seitwärts ab- oder über den Stab hinausgezogen. Es zeigt nachher das Ende (**A**) des Stabes (wo der Strich begann) den mit dem streichenden Pole gleichnamigen und das andere Ende (**B**) den ungleichnamigen Pol. Wird dieses Verfahren öfters wiederholt, wobei man jedes Mal den über das zweite Stabende (**B**) hinaus- oder daselbst seitwärts abgezogenen Magnetpol frei durch die Luft (ohne den Stab zu berühren) an das erste (**A**) zurückbringen muß; so erlangt dieser immer mehr magnetische Kraft bis zu einer gewissen, von der Stärke des Streichmagnets und der Beschaffenheit des Stabes abhängigen Anzahl von Strichen, über welche hinaus keine weitere Zunahme des Magnetismus mehr Statt findet.

Eine andere Art des einfachen Striches besteht darin, daß man den Streichmagnet mit einem seiner Pole, z. B. mit dem Nordpole, in der Mitte des zu magnetisirenden, horizontal liegenden Stabes (am besten unter einer Neigung von 25—30°) aufsetzt, denselben unter Beibehaltung dieser Neigung gegen ein Ende des Stabes hin- und dort abzieht, dann den Magnetpol durch die Luft (etwa auf halbkreisförmigem Wege) wieder in die Mitte des Stabes zurückführt, neuerdings an das nämliche Stabende hinzieht, dieses Streichen der einen Stabhälfte mehrere Male wiederholt und hierauf in ganz gleicher Weise die zweite Hälfte des Stabes und eben so oft als dies bei der ersten geschehen, mit dem andern Magnetpole (dem Südpole) streicht. Es erhält so jede der Stabhälften den Pol, welcher jenem, womit sie gestrichen wurde, entgegengesetzt ist. Man kann sich bei dieser Art des einfachen Striches dadurch die Arbeit bedeutend abkürzen, daß man (wie die Fig. 332 anschaulich

Fig. 332.



macht) in der Mitte des zu magnetisirenden Stabes **AB** die entgegengesetzten Pole **N, S** zweier gleich starker Magnete unter der vorbesagten Neigung von 25—30° aufsetzt und mit diesen Polen, indem man den einen an das eine und den zweiten an das andere Stabende hinzieht, dann beide wieder in die Mitte zurückbringt u. s. w., gleichzeitig beide Stabhälften eben so streicht, wie dies bei dem vorigen Verfahren mit den zwei Polen eines und desselben Magnets nach einander geschieht. Der einfache Strich, besonders in den zwei letzteren Modifikationen, ist, wenn er mit kräftigen Magneten ausgeführt wird, sehr geeignet, um Boussolen-Nadeln (von welchen bald nachher die Rede sein wird) und Stahlstäbe, die nicht mehr als 2‴ dick sind, regelmäßig und vollständig zu magnetisiren.

Der Doppelstrich, welcher bei Stäben, deren Dicke über 2‴ beträgt, immer anzuwenden ist, weil der einfache Strich für derlei Stäbe nicht zureicht, wird folgender Maßen ausgeführt. Man setze, so wie bei der zuletzt beschriebenen 3. Art des einfachen Striches auf die Mitte des zu magnetisirenden Stabes die entgegengesetzten Pole zweier möglichst gleich starker Magnete auf, nur gibt man diesen eine noch etwas stärkere Neigung (15—25°), führt sie beide nach dem nämlichen Stabende hin, von da den ganzen Stab entlang bis an dessen zweites Ende, hierauf wieder an das erste Ende zurück, und hebt sie endlich, nachdem sie so hin-

länglich oft über die ganze Länge des Stabes hin und her geführt wurden, wieder in der Mitte desselben ab. Es ist bei diesem Verfahren wesentlich, daß die streichenden Pole 2—3 Linien weit von einander abstehen, und man kann zu diesem Ende, überhaupt zu bequemerer Ausführung der ganzen Operation, die beiden Streichmagnete in der erforderlichen geneigten Stellung an den Seiten eines hölzernen Dreieckes befestigen oder den bezeichneten Abstand der Pole bleibend dadurch erzielen, daß man zwischen sie ein entsprechend großes Parallelepiped von Holz, Messing oder Blei bringt und dieses zugleich mit den Polen auf dem Stabe hin und her bewegt. Der Doppelstrich, durch welchen jedes Ende des Stabes einen Pol erhält, der dem beim Streichen mit diesem Ende zuletzt in Berührung gewesenen Magnetpole entgegengesetzt ist, erzeugt, mit kräftigen Magneten ausgeführt, einen starken Magnetismus, darf aber zum Magnetisiren von Boussolen-Nadeln und Stäben, die zu genauen Untersuchungen bestimmt sind, nicht angewendet werden, weil er fast immer ungleich starke Pole gibt, und leicht Folgepunkte, d. h. außer den zwei Polen an den Enden des Stabes noch andere dazwischen gelegene Pole, veranlaßt.

Sowohl die Wirkung des einfachen als des Doppelstriches wird dadurch bedeutend beschleunigt und erhöht, daß man, wie Fig. 333 zeigt, die Enden des zu magnetisirenden Stahlstabes AB auf die ungleichnamigen Pole N, S zweier kräftiger Magnete I, II legt und den Stab, falls er so dünn ist, daß er unter dem Drucke der Streichmagnete sich biegen könnte, in der Mitte durch ein Holzstück a unterstützt. Natürlich müssen die Streichmagnete auf dem Stabe so hingeführt werden, daß sie für sich allein (d. h. wenn die Magnete I, II nicht vorhanden wären) in dessen Enden Pole erzeugen würden, die jenen, worauf diese Enden ruhen, entgegengesetzt sind; denn nur so erreicht man, was bei Anwendung unterliegender Pole beabsichtigt wird, nämlich: daß die vertheilende Wirkung der Streichmagnete auf den Stahlstab durch jene der besagten Pole unterstützt werde. Da, wie wir oben aus der Richtung einer frei beweglichen Magnetnadel geschlossen haben und die Folge bestätigen wird, die Erde gegen Norden hin einen dem Nordpole eines Magnetstabes und gegen Süden hin einen dem Südpole dieses Stabes freundschaftlichen Pol hat, so wird es bei Magnetisirung eines Stahlstabes immer vortheilhaft sein, diesen so zu legen, daß das Ende, welches durch die in Anwendung zu bringende Streichmethode zum Nordpol werden, nach Norden, und das Ende, welches den Südpol annehmen soll, nach Süden gekehrt ist, weil dann die vertheilende Wirkung der Streichmagnete, so wie im vorhergehenden Falle durch die Pole, auf denen der Stahlstab liegt, jetzt durch die Erdpole unterstützt wird. Daß die beste Wirkung erzielt werden müsse, wenn man den zu magnetisirenden Stab von Norden nach Süden und mit dem nördlich gerichteten Ende auf einen Südpol, mit dem südlich gewendeten Ende hingegen auf einen Nordpol legt, und hernach so streicht, daß der Strich in dem ersten Ende den Nord- und in dem andern den Südpol zu erzeugen sucht, leuchtet bei dem Umstande, daß in diesem Falle die Magnet- und die Erdpole in Uebereinstimmung vertheilend auf den Stab wirken, von selbst ein.

Fig. 333.



Magnetisiren hufeisenförmiger Stäbe. Dies kann wie bei geraden Stäben auch durch den einfachen oder durch den Doppelstrich mittelst gerader Magnetstäbe geschehen; am schnellsten und vollkommensten wird es aber mit Hilfe eines ebenfalls hufeisenförmig gestalteten Magnets und zwar nach der einen oder andern der zwei folgenden Verfahrungsweisen bewerkstelligt werden.

1. **Verfahren.** Man gebe dem hufeisenförmigen Magnet A (Fig. 334) auf einem Tische eine feste Lage, so daß seine Pole N, S etwas über den Tischrand hervorragen, lege an an die Endflächen des zu magnetisirenden Stahlstabes B ein rechteckiges (mit dem Stabe nahe gleich dickes) Stück a aus weichem Eisen, einen sogenannten Anker, setze dann die Stabenden zunächst unter dem Anker bei senkrechter Stellung der Stabschenkel 1, 2 an die Pole des Magnets an . . . (†), führe diese Schenkel nachher langsam und gleichmäßig an den Magnetpolen empor, bis sie an

Fig. 334.



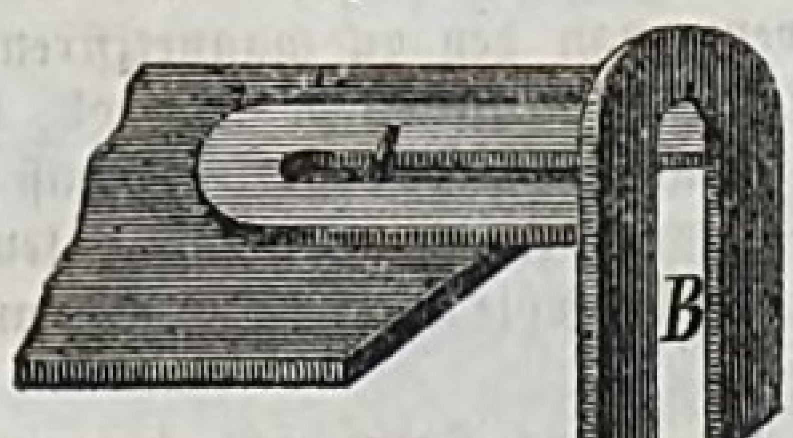
der Wölbung (Krümmung) des Stabes diese Pole verlassen haben, bringe hierauf den Stab durch die Luft wieder in der unter (†) angegebenen Weise mit den Magnetpolen in Berührung, führe ihn abermals an diesen Polen empor und über seine Krümmung hinaus u. s. w. Nach mehreren solchen Strichen hat der Stab schon das Maximum des Magnetismus, dessen er fähig ist, angenommen und es besitzt jeder Schenkel die mit dem Pole, womit er gestrichen worden, gleichnamige Polarität.

Daß ein Stab (oder eine Nadel) dieses Maximum erreicht habe (bis zum Sättigungspunkte magnetisirt sei), erkennt man daraus, daß er, wenn man ihn mit stärkeren Magneten in dem nämlichen Sinne, wie vorher, streicht, keinen stärkeren Magnetismus mehr annimmt. Die Stärke seiner magnetischen Kraft beurtheilt man aber entweder a) nach dem Gewichte weichen Eisens, das er zu tragen vermag, oder b) nach der Größe des Winkels, um welchen ein Pol desselben einen Pol einer frei beweglichen Magnetnadel aus der Ruhelage ablenkt, wenn man beide aus bestimmter Distanz und in einer zur Länge der Nadel senkrechten Richtung auf einander einwirken läßt, oder c) nach der Größe der Distanz, aus welcher eine solche Ablenkung um einen gewissen Winkel bewirkt wird, oder endlich d) nach der Anzahl Schwingungen, welche der Stab, wenn man ihn an einem Faden horizontal aufhängt und um den Faden aus seiner Ruhelage etwas herausdreht, in einer gewissen Zeit macht. Ein kräftiger Magnet trägt nämlich an seinen Polen mehr Eisen, bewirkt aus bestimmter Distanz eine größere Ablenkung der Magnetnadel oder dieselbe Ablenkung aus größerer Distanz und macht in gegebener Zeit mehr Schwingungen. Ueber die Gründe der Punkte b), c) und d) werden uns die folgenden Paragraphe belehren.

Nach Sinsteden ist es nicht gut, die Lamelle mit vorgelegtem Anker zu streichen (wenn man sie nicht etwa zum Tragen einer dem Anker angehängten Last brauchen will), weil so an den Polen mehr Magnetismus angehäuft wird, als die Lamelle allein annehmen und die Coercitivkraft des Stahles darin getrennt erhalten kann, und dann nach Abnehmen des Ankers das Uebermaß an Magnetismus, von dem Nordpole an Nord- und von dem Südpole an Südmagnetismus den Schenkeln entlang gegen die Mitte der Lamelle zurückgeht, was ganz so wie ein entmagnetisirender Rückstrich (siehe die nächste Seite) eine schwächende Wirkung haben muß, die natürlich desto größer ist, je mehr Uebermaß an Magnetismus vorhanden war. Stöhrer bestreitet diese Behauptung Sinsteden's und will beim Streichen mit und ohne Anker unter sonst gleichen Umständen ganz die nämliche Magnetkraft erzielt haben.

2. Verfahren. Es besteht darin, daß man, wie in Fig. 335, den Stahlstab **B** zunächst seiner Wölbung an die Pole des Magnets ansetzt, diese durch gleichförmiges Aufwärtsschieben des Stabes längs der Schenkel des letzteren und über deren Endflächen hinaus gleiten macht, den Stab durch die Luft wieder zur Berührung mit den Magnetpolen an seiner Wölbung zurückführt und diese Manipulation oft genug wiederholt. Das Ansetzen eines Ankers an die Schenkel des Stabes ist hier gerade nicht wesentlich, und diese erhalten Pole, die jenen, womit sie gestrichen werden, entgegengesetzt sind. Da es sich vortheilhaft erweist, jeden Schenkel des Stabes an beiden Flächen zu streichen, so kann man bei beiden, in den Fig. 334 und 335 anschaulich gemachten Magnetisirungsarten nach jedesmaligem Aufwärtsziehen des Stahlstabes an den Magnetpolen ersteren umwenden, jeden seiner Schenkel wieder an den nämlichen Magnetpol wie vorher ansetzen (im Falle der Fig. 334 zunächst des Ankers, in Falle der Fig. 335 aber an der Wölbung) und den Stab am Magnete dann abwärts schieben, oder man kann auch zuerst mehrere Striche in dem einen Sinne (nach aufwärts) und hernach eben so viele in dem zweiten Sinne (nach abwärts) vollführen.

Fig. 335.



Man kann, wenn zwei gerade Stäbe zu magnetisiren sind, diese auch nach Art eines einzigen, hufeisenförmigen Stabes behandeln: man legt sie nämlich zu einander parallel auf einen Tisch, verbindet an jeder Seite die Endflächen mit einem Anker, setzt nächst dem einen der beiden Anker auf die Stäbe die Pole eines senkrecht gestellten Hufeisenmagnetes auf, bewegt diesen der besagten Stellung stets parallel und in langsamen, gleichförmigem Zuge längst der Stäbe

hin bis über den zweiten Anker hinaus, führt ihn dann, ohne die Stäbe zu berühren, auf die Stabenden an dem ersten Anker zurück und wiederholt dieses Verfahren mehrere Male. Dabei erhalten die Stabenden, auf welchen die Magnetpole aufgesetzt wurden, die mit den aufgesetzten Polen gleichnamige und die entgegengesetzten Enden die ungleichnamige Polarität. Sind mehrere Paare gleicher gerader Stäbe zu magnetisiren, so kann man sie nach der Länge so an einander legen, daß sie zwei parallele Stangen größerer und gleicher Länge bilden und, nachdem die Enden dieser letzteren beiderseits durch Anker vereinigt wurden, ganz so wie mit den vorher besprochenen zwei Stäben verfahren. Trennt man dann die einzelnen Stäbe wieder von einander, so zeigen je zwei mit einander in Berührung gewesene Enden derselben ungleichnamige Pole.

Wird ein gerader oder hufeisenförmiger Magnetstab nach einer der beschriebenen Methoden mit einem andern Magnete so gestrichen, daß dadurch in ersterem, wenn er nicht magnetisch wäre, Pole erzeugt würden, die jenen, welche er wirklich besitzt, entgegengesetzt sind; so wird der ursprüngliche Magnetismus des Stabes entweder zum Theile, oder wenn der Streichmagnet kräftig genug ist, oder das Streichen oft genug wiederholt wird, ganz vernichtet, d. h. durch die entgegengesetzte Action des neuerzeugten ungleichnamigen Magnetismus theilweise oder gänzlich aufgehoben, und man sagt dann, der Stab sei zum Theile oder völlig entmagnetisirt worden. Eine solche Entmagnetisirung findet z. B. Statt, wenn man einen Hufeisenmagnet mit vorgelegtem Anker an einem andern derlei Magnet so streicht, wie es mit Hilfe der Fig. 334 von dem Stahlstabe **B** beschrieben wurde, dabei aber die Schenkel des ersteren Magnets immer an den ihnen ungleichnamigen Polen des letzteren hinführt. Wird das Entmagnetisirungsverfahren zu lange fortgesetzt, so erhält der betreffende Magnet, nachdem er seine vorige Polarität ganz verloren hat, die entgegengesetzte, so daß die Stelle des früheren Südpols jetzt ein Nordpol und umgekehrt einnimmt; es geht also eine Umkehrung der Pole vor sich. Uebrigens nehmen Stäbe, nachdem sie, wohl gar mehrere Male, eine Entmagnetisirung oder Umkehrung der Pole erfahren haben, in der Regel bei weitem keinen so starken Magnetismus mehr an als unter sonst gleichen Umständen vor dem Entmagnetisiren oder Polumkehren, obwohl ausnahmsweise in manchen Fällen Stäbe erst nach mehrmals erlittener Polumkehrung die größte magnetische Kraft annehmen.

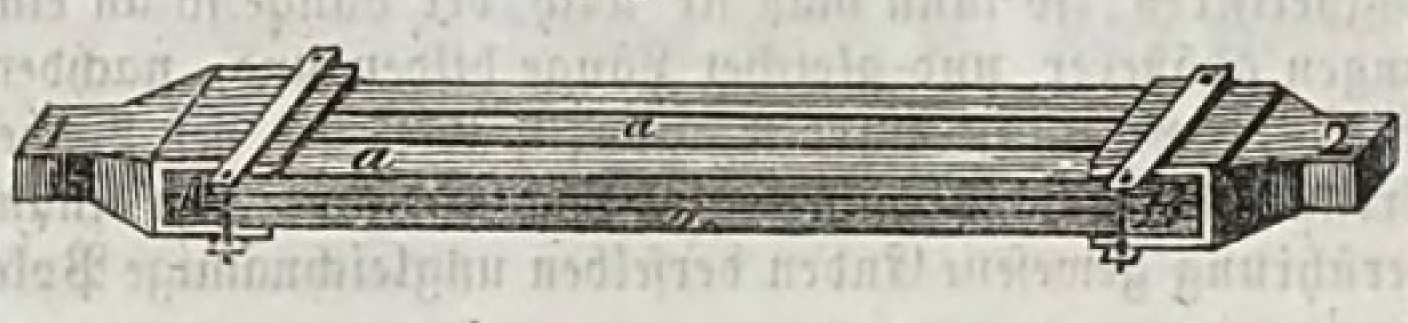
Schließlich soll hier noch in Kürze der sogenannten Transversalmagnete Erwähnung geschehen, um uns in der Folge auf das Wesen derselben beziehen zu können. Werden mehrere gerade Magnetstäbe am Umfang eines Ringes und in der Richtung der Halbmesser desselben so befestigt, daß sie (in der Mitte des Ringes) einen kleinen Raum frei lassen und die daselbst einander gerade gegenüberstehenden Pole ungleichnamig sind, und man zieht hierauf durch diesen Raum einen seiner Größe und Gestalt angepaßten Stahlstab oder Draht mit Reibung hindurch, so erhält dieser so viele nach seiner ganzen Länge hingehende Pole, als Magnetstäbe angewendet wurden, und je zwei einander diametral gegenüberstehende oder neben einander liegende Pole sind freundschaftlich. In einer solchen Polarität besteht das Wesen eines Transversalmagnets. . . . . (112)

Die Stärke des durch die beschriebenen Streichmethoden erzielbaren Magnetismus hängt unter sonst gleichen Umständen (bei einer und derselben Streichmethode u.s.w.) von der Kraft der Streichmagnete, von der materiellen Beschaffenheit, Homogenität (Gleichartigkeit), Gestalt und Größe des zu magnetisirenden Stabes ab.

1) Einfluß des Streichmagnets. An und für sich kann man mit einem schwachen Streichmagnete auch nur schwache magnetische Kräfte wecken, also zunächst nur schwache Magnete erzeugen. Allein durch Vereinigung mehrerer solcher schwacher Magnete, indem man sie so an einander legt, daß nach einer Seite alle Nord- und nach der andern alle Südpole neben einander liegen, alle gleichnamigen Pole also zusammenwirken, erhält man stärkere Magnete, mit denen man die andern schwächeren wieder streichen und verstärken kann. Es läßt sich dieses Verstärkungsverfahren, wobei immer einer oder ein Paar der schwachmagnetischen Stäbe nach dem andern mit allen übrigen, zu einem zusammengesetzten Magnete vereinigten Stäben gestrichen wird, so lange fortsetzen, bis alle vorhandenen Stäbe zur Sättigung magnetisirt sind, und auf diese Weise kann mittelst eines einzigen ganz schwachen Magnets aus einer gehörigen Anzahl

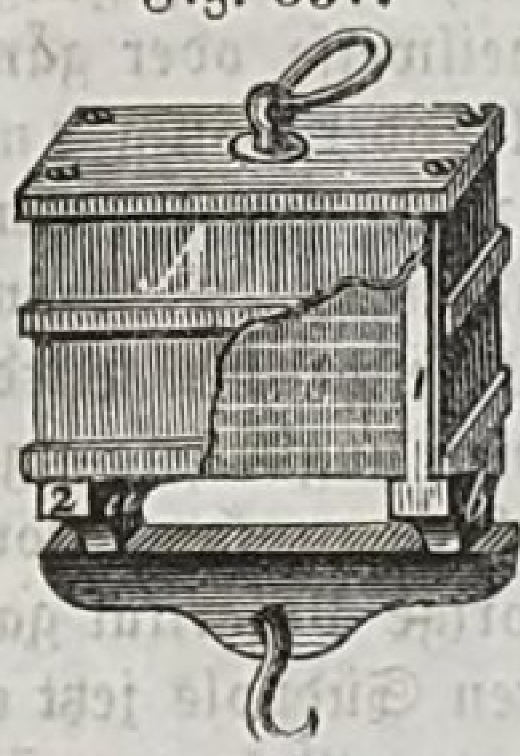
von Stahlstäben ein sehr kräftiger Magnet zu Stande gebracht werden. Gerade Magnetstäbe legt man, um sie zu einem zusammengesetzten Magnet zu vereinigen, so wie die Stäbe a in Fig. 336 zu einen prismatischen Bündel AB zusammen und gibt denselben, indem man an die

Fig. 336.



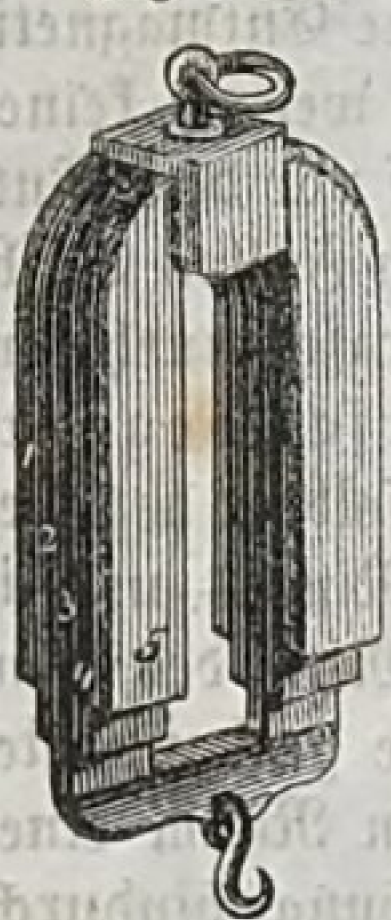
Enden dieses Bündels Schuhe 1, 2 aus weichem Eisen ansetzt, eine sogenannte Armatur, so daß, indem jeder Schuh von Seite der damit in Berührung stehenden Pole eine Magnetisirung durch Vertheilung erfährt, die Nordpole aller Stäbe gleichsam in den einen, und die Südpole in den andern Schuh übertragen werden. Will man die Pole des zusammengesetzten Magnets nach der nämlichen Seite gekehrt haben, entweder um sein Tragvermögen zu erhöhen (weil dann zum Tragen der betreffenden Last gleichzeitig beide Pole benützt werden können) oder um ihn wie einen hufeisenförmigen Magnet zum Magnetisiren hufeisenförmiger Stahlstäbe anzuwenden; so gibt man den Armaturtheilen 1, 2 nach Art jener in Fig. 337 hervorstehende Füße a, b, und diese werden dann die Pole des ganzen Magnetbündels bilden. Um letzteres zusammen zu halten und gegen die Feuchtigkeit der Luft oder der Hände, welche Rost erzeugt, zu verwahren, wird es gewöhnlich in ein hölzernes Gehäuse A eingeschlossen.

Fig. 337.



Bei Vereinigung mehrerer hufeisenförmiger Magnete (1, 2, 3, 4, 5 . . .) zu einem einzigen kräftigen Magnet nimmt man deren am besten eine ungerade Zahl, gibt dem mittleren die größte Dicke und Länge und läßt die Länge und Dicke der äußeren stufenweise abnehmen, wie Fig. 338 anschaulich macht. Die Enden der mittleren Lamelle (3), die jetzt gleichsam Träger auch der Magnetismen der übrigen Lamellen (1, 2, 4, 5) wird, sind die Pole des ganzen zusammengesetzten Magnets. Zusammengesetzte Magnete von bedeutender Kraft pflegt man *magnetische Batterien*, wohl auch *magnetische Magazine* zu nennen. Die Kraft eines zusammengesetzten Magnets ist immer geringer als die Summe der magnetischen Kräfte, welche die einzelnen Stäbe vor ihrer Vereinigung besaßen. Nach *Sinsteden* soll man bei einer solchen Zusammensetzung nie eine schwache Lamelle auf eine starke oder eine einzelne Lamelle auf 2, 3 u. s. w. bereits zusammengesetzte Lamellen bringen, sondern es ist am besten zu einem zusammengesetzten Magnet nur lauter gleich starke Lamellen zu wählen, dann von diesen erst zwei zu zweien, dann vier zu vieren, acht zu achten u. s. f. zusammen zu legen. Auch sollen (nach *Stöhrer*) die einzelnen Lamellen an Form, Gewicht und Härte gleich sein.

Fig. 338.



2. *Einfluß der Beschaffenheit, Gleichartigkeit, Gestalt und Größe des zu magnetisirenden Stabes.* Die zu Magneten bestimmten Stäbe sollen aus gleichförmigem, feinkörnigem und durchaus gleichmäßig hartem Stahle bestehen. Die Härte darf weder eine zu große noch eine zu geringe sein; denn erstere hindert die Annahme des Magnetismus und letztere ist bezüglich der Dauer desselben nachtheilig. Am vortheilhaftesten erweist sich durch Erfahrung der Härtegrad, den der Stahl beim Anlassen bis zur lebhaft blauen oder bis zur grünlich blauen Farbe erhält. Eisenadern, Unterbrechungen und Ungleichartigkeiten in der Masse benehmen dem Stahle die Empfänglichkeit für starken Magnetismus. Die Stäbe sollen ferner an der Oberfläche glatt gefeilt oder geschliffen sein, und es ist gut, wenn ihre Breite ein Mehrfaches der Dicke und letztere nicht bedeutend, jedoch auch nicht unter 1/4 Zoll ist. Bei Hufeisen sollen die Schenkel parallel und einander nahe liegend sein. Zum Behufe der Erzeugung zusammengesetzter Magnete oder magnetischer Batterien müssen die einzelnen zu vereinigenden Stäbe vor dem Magnetisiren genau aneinander passend gemacht werden, so daß sich ihre Flächen möglichst innig berühren. Die Anker aus weichem Eisen, deren man sich auf die vorne angegebene Weise beim Magnetisiren bedient und die man, wie gleich nachher angegeben wird, auch bei bereits fertigen Magneten zur Erhaltung und Stärkung ihrer Kraft anwendet, sollen rücksichtlich der Größe jener des zu erzeugenden oder bereits fertigen Magnets angemessen sein und sich gut, wenn auch nur in einer einzigen Linie, an dessen Endflächen anschließen. Bei gehöriger Beachtung vorstehender Punkte kann ein hufeisenförmiger Stahlstab durch Streichen in einen Magnet verwandelt werden, der das 10-, ja das 20fache seines eigenen Gewichtes trägt; ein gerader Stab kann aber selten weiter als zum Tragen eines seinem eigenen gleichen Gewichtes gebracht werden. Für mittlere und große Magnete empfiehlt *Stöhrer* einen grobbrüchigen und aderigen Stahl. Hufeisenlamellen sollen nach dem Härten in der Krümmung blau, an den Schenkeln hingegen dunkelgelb angelassen werden. Das nach dem Härten nöthige Geradrichten geschieht bei gehöriger Vorsicht

am besten mittelst eines sehr harten stählernen Spitzhammers auf ähnlichem Amboß. Im Allgemeinen behält ein Stahl den ihm ertheilten Magnetismus desto besser, je härter man ihn anlassen kann; indessen gibt es für jede Stahlsorte eine gewisse Härte, welche bezüglich der Annahme und des Behaltens des Magnetismus die beste ist.

3. **Stärkung und Schwächung fertiger Magnete.** Magnete sind gleich nach ihrer Erzeugung, und wenn diese unter Anwendung eines Ankers geschah, bevor dieser abgerissen worden, am stärksten (bei der Magnetisirung wirkt nämlich nicht nur der im gestrichenen Stabe geweckte Magnetismus, sondern auch jener des Streichmagnetes auf den Anker, wodurch die magnetische Spannung in diesem eine Stärke erhält, die nach Abreißen desselben natürlich nicht mehr fortbestehen kann). Befindet sich ein Magnet in einer Lage, bei welcher die erdmagnetische Kraft durch ihren vertheilenden Einfluß in jedem seiner Enden einen Pol zu erzeugen sucht, der dem darin schon vorhandenen entgegengesetzt ist (oder bei welcher in dem Falle, daß der Magnetstab seine beiden Pole nach der nämlichen Seite kehrt, ein solcher Gegensatz für den einen dieser Pole entsteht); so findet in dem Magnete eine theilweise Wiedervereinigung der in ihm getrennt gewesenen Magnetismen, mithin eine Schwächung desselben Statt. Dies wird durch Anlegung von Stücken aus weichem Eisen an die Pole (durch Armirung) oder durch Ansetzen eines Ankers (wenn die Gestalt des Magnets dies erlaubt) verhindert, weil die Armaturen und Anker durch die in Folge Zerlegung in ihnen hervorgerufenen Magnetismen jene des Magnets beschäftigen (binden). Magnete sollen daher nie ohne Armatur oder angelegten Ankern aufbewahrt werden. Magnetnadeln und Magnetstäbe, welche durch den Erdmagnetismus gerichtet sind, sind gewissermaßen durch die Erde armirt. Erschüttern, Fallenlassen, Stoßen oder Schlagen schwächt die Magnete, kann bei größerer Heftigkeit ihren Magnetismus ganz vernichten und ist daher zu vermeiden. Nach **Häcker**, der sich viel mit Magneten beschäftigte, soll man sie nicht einmal mit einem harten oder rauhen Körper reiben; sie nicht auf Eisen legen, nicht mit Eisen streichen und nicht in große Nähe von Eisen, Stahl oder andern Magneten legen. So wie Rost, sind auch Staub und Schmutz an den Polflächen hintan zu halten und zwar blos besserer Anschließung des Ankers wegen, denn sonst schadet auch selbst der Rost nicht; aus gleichem Grunde ist auch das Anlegen kleiner Eisentheilchen an den Polen zu verhindern. Die Rückwirkung des in dem weichen Eisen, welches als Armatur oder Anker mit dem Magnete in Berührung steht, durch Vertheilung erzeugten Magnetismus auf den Magnet trägt sogar zur Verstärkung des letzteren bei, und man kann daher die Last, welche ein Magnet zu tragen vermag, allmälig immer um kleine Zugaben bis zu einer gewissen Grenze vermehren, somit seine Kraft allmälig steigern oder, wie man sich auszudrücken pflegt, den Magnet **üben**. Jedes Abnehmen des Ankers bringt den Magnet um einen Theil seiner Kraft; es beträgt dieser Verlust aber immer weniger, je öfter der Anker bereits abgenommen wurde, so daß endlich ein weiteres Abnehmen keine Veränderung in der Kraft des Magnetes mehr bewirkt, und er dann eine constante Tragkraft besitzt. Diese nachtheilige Wirkung ist am größten, wenn der Anker plötzlich und gewaltsam losgemacht (abgerissen) wird, oder wenn das Abnehmen nach der Richtung der Länge der Magnete (oder ihrer Schenkel) geschieht; man soll daher den Anker immer langsam und gleichmäßig, nach der Seite hin und in paralleler Richtung zu den Flächen, woran er haftet, abziehen. Nach **Häcker** läßt sich die besagte constante Tragkraft z eines Hufeisenmagnetes durch die Formel $z = a\sqrt[3]{P^2}$ darstellen, worin a einen constanten, von der Beschaffenheit des Stahles abhängigen Factor bedeutet, für welchen man bei gutem Stahle 40 oder 12·6 (nach **Elias** 13·23) setzen kann, je nachdem das Gewicht P des Magnetes in baier. Pfunden oder in Kilogrammen ausgedrückt ist. Bei geradlinigen Magneten wird die Tragkraft eines Poles durch die nämliche Formel gegeben, nur ist darin a, anstatt 40, = 19·5 also näherungsweise halb so groß, wie vorhin, zu setzen. Uebrigens ist die Form des Querschnittes der Stäbe oder ihrer Schenkel, so wie der Abstand der letzteren von einander, gleichgiltig. — Wärme schwächt den Magnetismus, und Erhitzen bis zum Hellroth oder bis zum Weißglühen hebt ihn sowohl bei natürlichen als künstlichen Magneten vollständig auf, so daß sie nach dem Erkalten gar keine magnetische Eigenschaft mehr zeigen. Es verlieren die betreffenden Stoffe dabei aber nicht die Fähigkeit, durch die bekannten Verfahrungsarten wieder zu Magneten zu werden; nur wird bei natürlichen Magneten für immer die Größe der Coercitivkraft vermindert, so daß der nach dem Glühen ihnen wieder ertheilte Magnetismus nicht mehr so fest haftet; künstliche (Stahl-) Magnete erhalten aber durch neuerliches Härten die Fähigkeit magnetisch zu werden im ursprünglichen Grade vollkommen wieder. Uebrigens erfolgt die Aufhebung des Magnetismus durch Hitze allmälig und in dem Maße, als die Temperatur zunimmt, und der Magnet muß, damit er den größten Kraftverlust, den er bei einer bestimmten Temperatur überhaupt erleiden kann, wirklich erfahre, dieser Temperatur längere Zeit ausgesetzt bleiben. Auch Eisen wird, während es hell glüht, von Magneten nicht angezogen (wird hingegen magnetisch, wenn man es in glühendem Zustande plötzlich in kaltes Wasser taucht; ein so lothrecht eingetauchter Eisenstab zeigt

am untern Ende einen Nord= und am obern einen Südpol); es gibt daher auch für dieses eine Temperaturgrenze, über welche hinaus es für den Einfluß des Magnetismus keine Empfänglichkeit mehr besitzt, und eine eben solche Grenze existirt für jedes der andern magnetischen Metalle. Nach Versuchen liegt sie für Kobalt weit über der Weißglühhitze (denn es zeigt sich in den höchsten Temperaturen noch magnetisch); für Chrom liegt die magnetische Grenze etwas unter der Temperatur des Dunkelrothglühens, für Nikel ungefähr bei 280° R. (also nahe unter dem Schmelzpunkte [288° R.] des Zinkes); für Mangan bei 16—20° R., und es ist sehr wahrscheinlich, daß für jeden Körper eine gewisse Temperatur existire, unterhalb welcher er wie das Eisen oder die andern oben genannten Metalle magnetisch ist, so daß alle Stoffe, wenn man sie durch hinreichend starke Abkühlung unter die ihnen eigenen magnetischen Temperaturgrenzen herabbringen könnte, wie Eisen von Magneten angezogen werden müßten. Der Wärme entgegengesetzt wirkt auf die magnetische Kraft das Licht: es soll dieselbe steigern. Gewisse Theile des weißen Sonnenlichtes, nämlich die bei Zerlegung dieses Lichtes in seine Bestandtheile (worüber der vom Lichte handelnde Abschnitt uns näher belehren wird) violet, blau und grün erscheinenden sind sogar unzweifelhaft im Stande, Stahlnadeln in Magnete zu verwandeln. Man darf nur, während die eine Hälfte einer solchen Nadel in Papier gehüllt ist, die andere Hälfte einige Stunden lang der Einwirkung der besagten farbigen (am besten der) violeten Strahlen aussetzen, so erhält diese einen Nord= und die zweite, verhüllt gewesene Hälfte einen Südpol. Auch in anhaltendem weißem Sonnenlichte soll eine Stahlnadel, die nur an einzelnen Stellen polirt ist, an diesen Nordpole erhalten, auch wenn sie unter Wasser sich befindet.

176. Einrichtung und Anwendung der Magnetnadeln.

Eine besonders wichtige Anwendung finden die künstlichen Magnete in Gestalt der Magnetnadeln als wesentliche Bestandtheile der unter den Namen „Boussolen" oder „Compaße" bekannten Instrumente, welche dem Schiffer zur See, dem Geometer auf dem Lande und dem Markscheider unter der Erde sehr nützliche, ja unentbehrliche Führer sind, dem Seefahrer in jedem Augenblicke die Richtung seines Schiffes in Bezug auf die Weltgegenden angeben, dem Geometer und dem Markscheider sich zu orientiren, Winkel zu messen 2c., ersterem seinen Meßtisch schnell in eine erforderliche Lage zu bringen gestatten und überhaupt in allen Fällen die besten Dienste leisten, wo es sich darum handelt, Gegenstände, z. B. Sonnenuhren, Diopter, Fernröhre u. s. w. in der Richtung nach einer bestimmten Weltgegend hin aufzustellen. Die Magnetnadeln, im engeren Sinne des Wortes (siehe S. 351), erhalten gewöhnlich die Gestalt einer Raute (eines Rhombus von geringer Breite und verhältnißmäßig bedeutend (10—20 Mal) größerer Länge. (Man sieht diese Gestalt in der Fig. 339 bei II, wo eine solche Nadel, von oben angesehen, dargestellt ist.) Sie werden aus Uhrfederstahl verfertigt, bei der Rothglühhitze gehärtet und dann temperirt, indem man sie von der Mitte aus (bei größerer Länge der Nadel bis etwa zu einem Zolle von jedem Ende) blau anlaufen läßt. Um die Pole leichter unterscheiden zu können, entfernt man nachher durch Abschleifen die blaue Farbe von der einen Hälfte der Nadel und magnetisirt diese dann gewöhnlich so, daß die blaugebliebene Hälfte den Nord= und die blank gewordene (graue) den Südpol erhält. Soll die Nadel um eine vertikale Axe in horizontaler Ebene leicht drehbar sein, so erhält sie, wie schon früher einmal erwähnt worden, in der Mitte ein Hütchen c (Fig. 339), das gewöhnlich aus Messing besteht und als Deckel einen an der innern Fläche ausgehöhlten Achat i eingesetzt enthält, mittelst dessen sie auf einer Stahlspitze balancirt. Solche Nadeln heißen Declinations= und weil sie den Haupttheil der Boussolen oder Compaße ausmachen, auch Boussolen= oder Compaß=Nadeln. Eine Nadel, welche die magnetische Neigung anzeigen soll und deswegen eine Inclinationsnadel heißt, wird am einfachsten entweder in ihrem Schwerpunkte an einem ungedrehten Faden aufgehängt, oder wie in Fig. 340 um

Fig. 339.

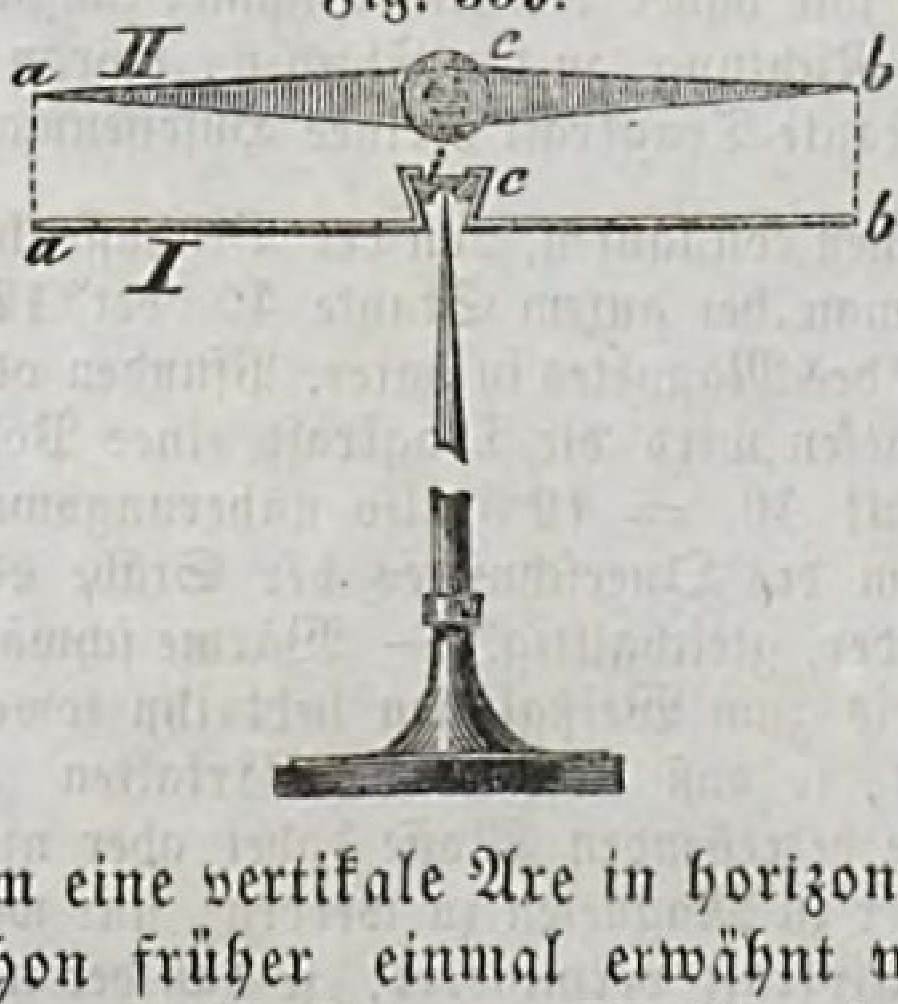
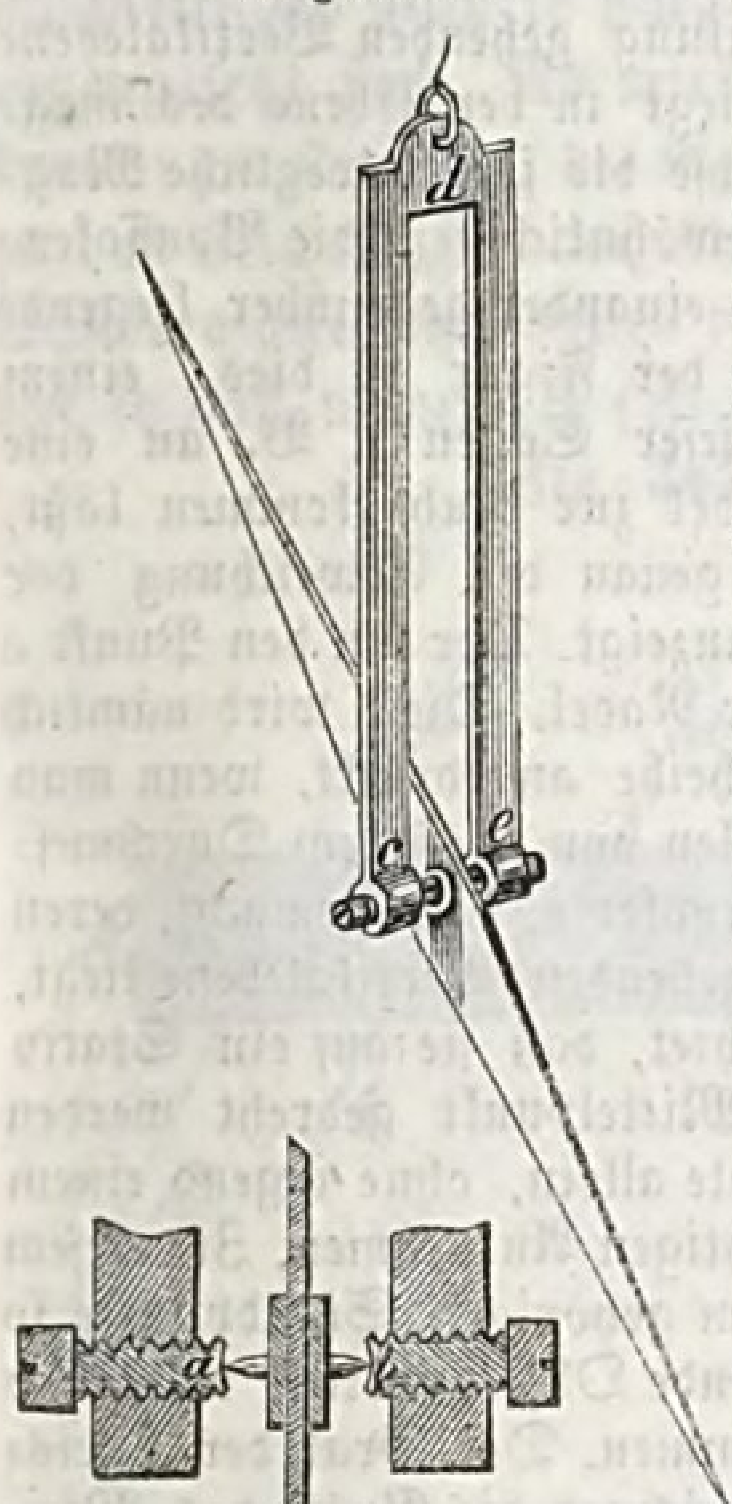


Fig. 340.



eine durch ihren Schwerpunkt gehende, horizontale Axe ab leicht beweglich gemacht (indem die spitzen Enden dieser Axe wie Körner in entsprechenden Vertiefungen an den Seitentheilen des an einem Faden hängenden messingenen Rahmens **cde** laufen). Eine sogenannte a s t a t i s c h e Nadel (S. 351), welche sich nur in der Ebene des magnetischen Aequators bewegen kann und daher (aus Gründen, die uns erst aus dem Folgenden begreiflich werden können) in ihrer Stellung und Bewegung vom Erdmagnetismus ganz unabhängig ist, wird durch die in Fig. 341 dargestellte Einrichtung erhalten, wo die Magnetnadel **ns** sich nur in der Ebene des getheilten Kreises **A** um eine darauf senkrechte und durch dessen Mittelpunkt gehende Axe bewegen kann, der Kreis sich aber mittelst der in den Umfang der Scheibe **B** eingreifenden endlosen Schraube **1** unter jeden Winkel gegen den Horizont neigen und mittelst der die Scheibe **C** drehenden endlosen Schraube **2** um eine vertikale Axe drehen, sich durch diese doppelte Bewegung daher immer senkrecht auf die Richtung der Inclinationsnadel, d. i. in den magnetischen Aequator stellen läßt. Daß dieser Apparat bei horizontaler Lage des Kreises **A** ein Declinatorium und wenn dieser Kreis vertikal und zur Axe einer Inclinationsnadel parallel gestellt ist, ein Inclinatorium bilde, wird später klar werden. Man kann aber auch eine Nadel dahin bringen, daß sie bei jeder Abweichung vom magnetischen Meridiane in Ruhe bleibt und deßhalb ebenfalls die Benennung a s t a t i s c h verdient, wenn man mit ihr eine zweite gleich starke Magnetnadel durch ein Stängelchen **a** aus Holz, Bein oder einem nicht magnetischen Metalle so verbindet, daß beide Nadeln **I, II** (Fig. 342) die ungleichnamigen Pole nach derselben Gegend hinkehren, und diese Doppelnadel dann an einem Faden aufhängt. Da die nach einerlei Seite hin gewendeten ungleichnamigen Pole der Doppelnadel von dem Erdmagnetismus gleiche, aber entgegengesetzte, sich also aufhebende Wirkungen erfahren (der eine Pol wird nämlich eben so stark angezogen, als der andere abgestoßen); so bleibt auf die Stellung und Bewegung dieser Nadel der Erdmagnetismus ganz ohne Einfluß.

Fig. 341.

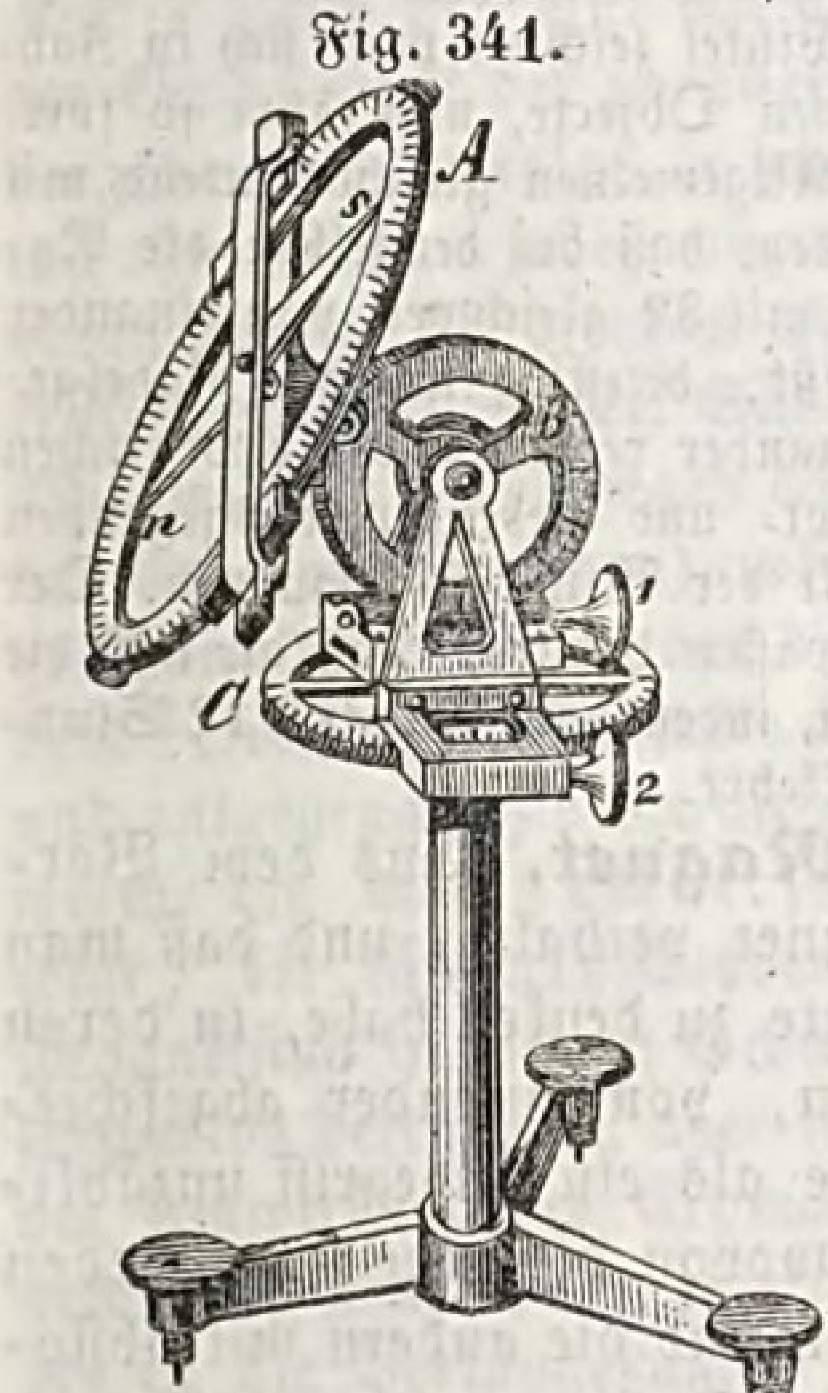


Fig. 342.

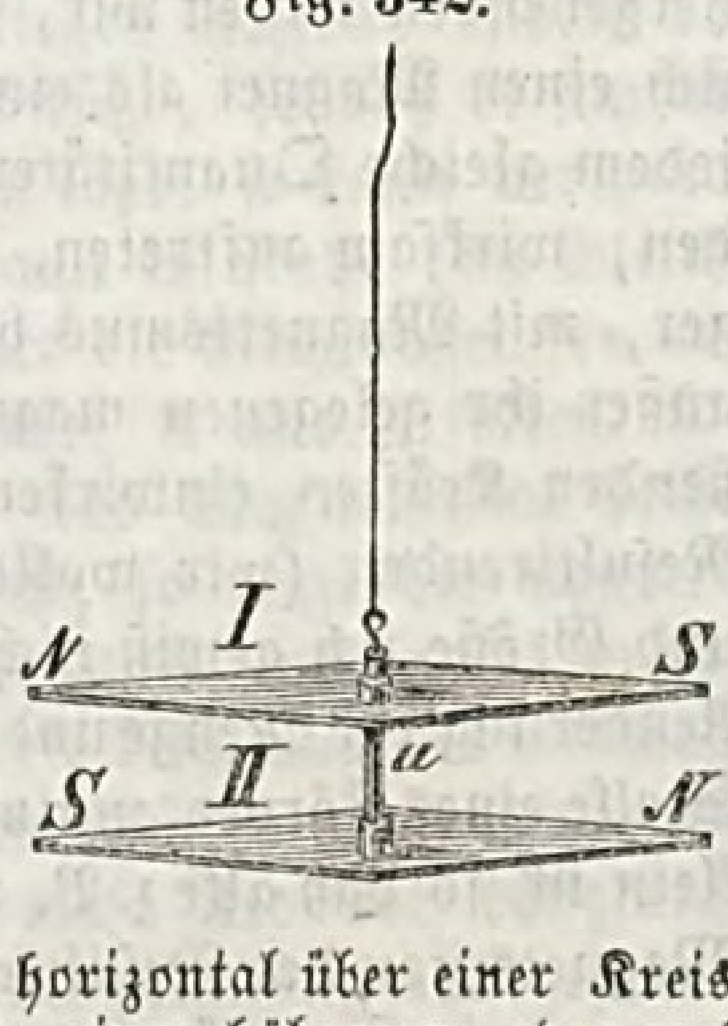
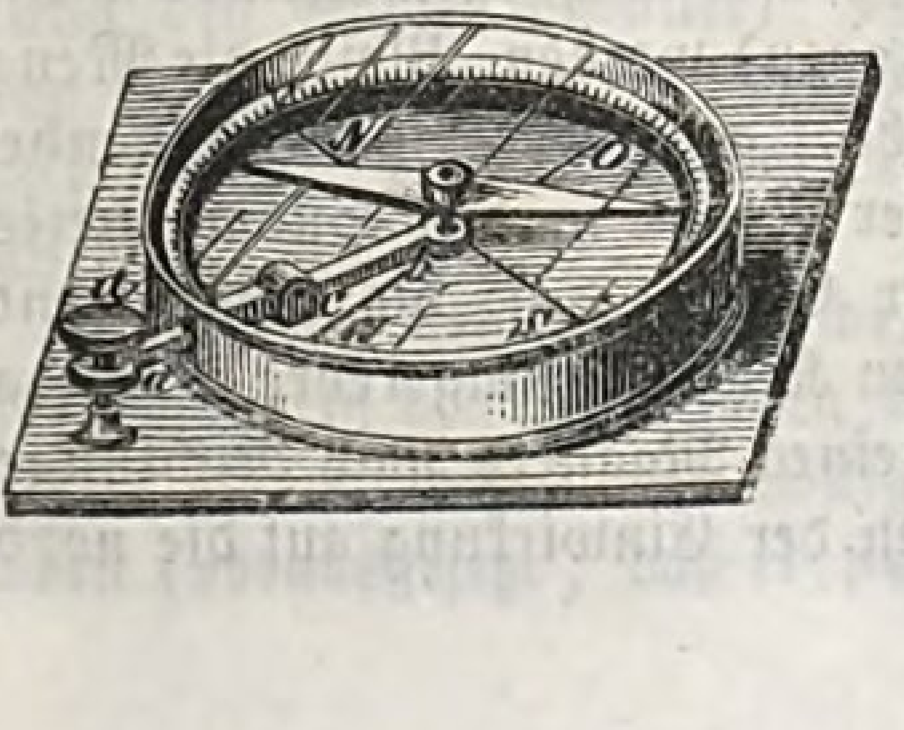


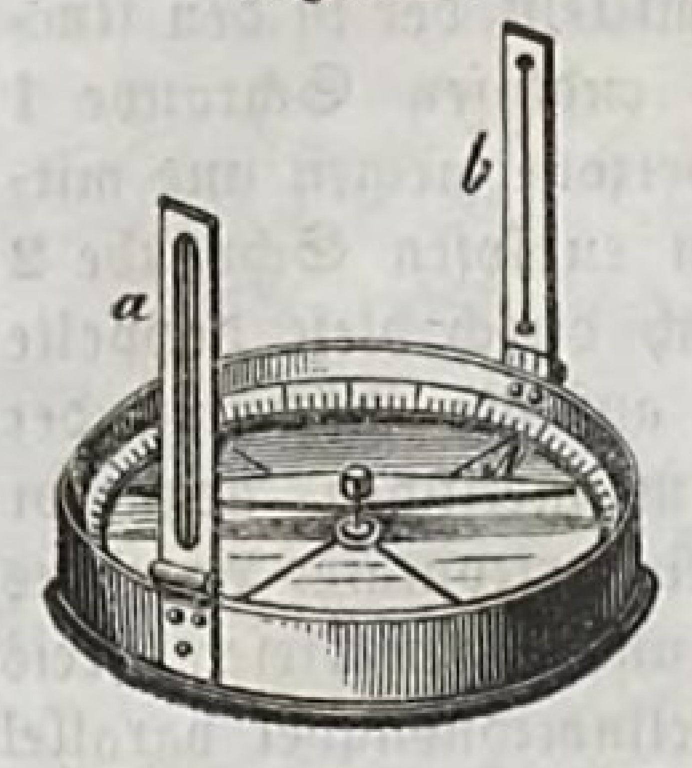
Fig. 343.



Eine auf einer Spitze horizontal über einer Kreiseintheilung schwebende und in einer hölzernen oder messingenen cylindrischen Büchse (oft nur von der Größe eines Taschenuhr-Gehäuses) eingeschlossene (Declinations-) Nadel macht das Wesen einer B o u s s o l e (Fig. 343) aus. (Nach K a t e r gibt man der Nadel einer Boussole am besten die Form eines Rhombus, dessen Breite und Länge im Verhältnisse 2 : 5 stehen und der, bis auf eine Querspange in der Mitte zur Anbringung des Hütchens, nach Art des

in Fig. 96 abgebildeten Wagebalkens durchbrochen ist.) Am Boden der Büchse ist in der durch den Mittelpunkt und durch den Nullpunkt der Kreiseintheilung gehenden Vertikalebene eine an den Enden mit N und S bezeichnete Linie gezogen. Diese liegt in der Ebene des magnetischen Meridians, wenn durch entsprechende Drehung der Büchse die frei bewegliche Magnetnadel mit ihr in eine und dieselbe Vertikalebene gebracht ist. Gewöhnlich sitzt die Boussolenbüchse auf einer messingenen Quadrattafel A fest, an welcher zwei einander gegenüber liegende Seiten (Ränder) der besagten Linie NS genau parallel sind (in der Figur ist dies, einem Versehen zu Folge, nicht der Fall), so daß, wenn man eine dieser Seiten z. B. an eine auf dem Mißtisch gezogene gerade Linie genau ansetzt und die Nadel zur Ruhe kommen läßt, der Winkel, welchen die Nadel mit der Linie NS einschließt, genau die Abweichung der auf dem Meßtische gezogenen Linie vom magnetischen Meridiane anzeigt. Der um den Punkt c drehbare Hebel ab dient zum Unbeweglichmachen (Sperren) der Nadel. Diese wird nämlich durch das Hebelende b an die die Boussolenbüchse bedeckende Glasscheibe angedrückt, wenn man mittelst der Schraube d den Hebelarm ac niederdrückt. Bei Boussolen von größerem Durchmesser (5—6 Zoll) sind oben an der Büchse (wie in der Fig, 344) Diopter a, b festgemacht, deren Visirlinie in der durch die Linie NS gehenden Vertikalebene liegt, und es ist die Büchse unten so eingerichtet, daß sie auf ein Stativ gesetzt und leicht horizontal um ihren Mittelpunkt gedreht werden kann. In dieser Gestalt dient die Boussole allein, ohne irgend einem anderen Instrumente, recht gut zum flüchtigen Aufnehmen. Zu diesem Behufe dreht man sie nämlich auf einem gehörigen Standpunkte so lange, bis durch die Diopter das betreffende Object erblickt wird und läßt dann die Magnetnadel zur Ruhe kommen. Der Grad der Kreiseintheilung, auf den diese hinweiset, bezeichnet die Größe des Winkels, den die Visirlinie nach dem gewählten Objecte mit dem magnetischen Meridiane bildet. Diesen Winkel zeichnet man sich in Zahlen auf, visirt nun nach einem neuen Objecte, und fährt so fort. Die Benennung Compaß ist im Allgemeinen gleichbedeutend mit Boussole. Der sogenannte Schiffscompaß ist nur darin verschieden, daß bei demselben die Nadel auf einer runden leichten Papierscheibe, worauf ein Stern mit 32 gleichweit von einander abstehenden Spitzen gezeichnet ist und welche Windrose heißt, befestigt und das Nadelgehäuse, wie vorn S. 82 beschrieben wurde, in zwei gegen einander rechtwinklich beweglichen Ringen aufgehängt ist. An den besagten Spitzen sind die Haupt- und Nebenhimmelsgegenden angemerkt und der Nordpol der Nadel fällt mit dem Nordpunkt der Windrose zusammen. Der Markscheider-Compaß unterscheidet sich von den andern Compaßen dadurch, daß an ihm die Theilung nicht nach Graden, sondern nach Stunden ausgeführt ist, indem von N nach S 12 Stunden gezählt werden und diese Eintheilung von S nach N zurückkehrt.

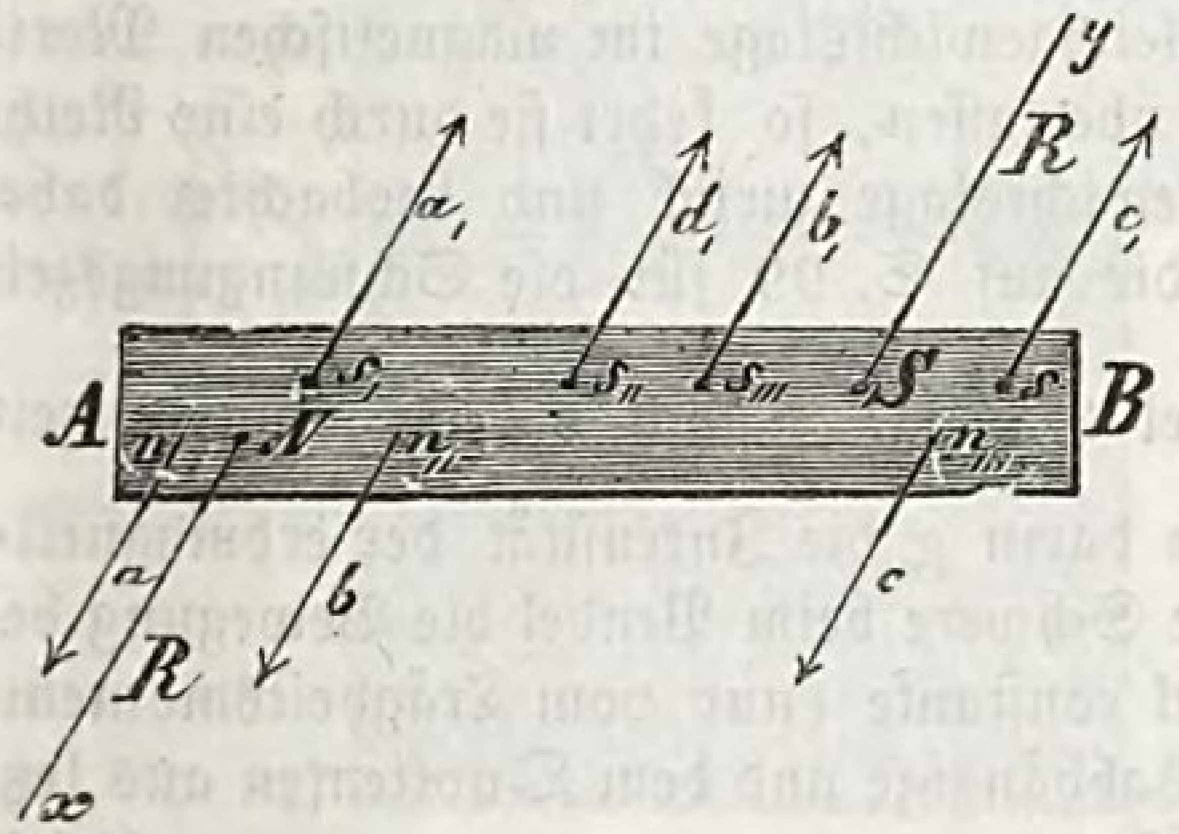
Fig. 344.



177. Wirkung der Erde auf einen Magnet. Aus dem Vorhergehenden wissen wir, daß die Erde sich wie ein Magnet verhalte, und daß man sich einen Magnet als ein Aggregat magnetischer Elemente zu denken habe, in deren jedem gleiche Quantitäten entgegengesetzter Magnetismen, von einander abgeschieden, wirksam auftreten. Dem zu Folge ist auch die Erde als ein Inbegriff unzähliger, mit Magnetismus begabter Punkte zu betrachten, wovon die einen auf jeden außer ihr gelegenen magnetischen Punkt mit anziehenden und die andern mit abstoßenden Kräften einwirken. Alle diese Kräfte lassen sich offenbar zu einer einzigen Resultirenden (wir wollen sie mit **P** bezeichnen) zusammensetzen, deren Richtung und Größe sich gewiß nicht merklich ändert, wenn man den afficirten Punkt, ohne Aenderung der Menge und Beschaffenheit seines Magnetismus, an was immer für einer Stelle eines Körper annimmt, dessen Ausdehnung gegen jene der Erde verschwindend klein ist, so daß alle z. B. mit Nordmagnetismus begabten Punkte eines und desselben Magnets von der Resultirenden der erdmagnetischen Kräfte nach parallelen Richtungen und in dem nämlichen Sinne afficirt (z. B. angezogen) werden. Bleibt die Menge des Magnetismus des afficirten Punktes zwar dieselbe, geht aber die Beschaffenheit seines Magnetismus in die entgegengesetzte (z. B. der Nord- in den Südmagnetismus) über; so erfolgt auch die Gesammtwirkung der Erde, d. i. die Resultirende sämmtlicher auf denselben wirkender erdmagnetischen Kräfte, umgekehrt, so daß diese Resultirende auf alle südmagnetischen Punkte eines Magnets nach Richtungen agirt, welche unter einander und mit den Richtungen der Einwirkung auf die nord-

magnetischen Punkte parallel, im Verhältniß zu diesen letzteren Richtungen aber entgegengesetzt sind. Es wirken demnach von der Erde aus auf einen Magnet zwei Systeme von Kräften, die Richtungen der Kräfte jedes Systems sind unter einander und zu den Richtungen der Kräfte des andern Systems parallel, gehen aber in dem einen Systeme alle nach einer und in dem andern Systeme nach der entgegengesetzten Seite hin, so daß, wenn **AB** (Fig. 345) ein Magnet ist, und die Pfeile a, b, c u. s. w. Richtungen von Kräften des einen Systems (z. B. von Kräften, womit die Erde auf die mit Nordmagnetismus begabten Punkte n_1, n_2, n_3 u. s. w. des Magnetes wirkt) bezeichnen, die Pfeile a_1, b_1, c_1 u. s. w. Richtungen von Kräften des andern Systems, d. i. von Kräften, welche die Erde auf die südmagnetischen Punkte s_1, s_2, s_3 u. s. w. des Magnets übt) vorstellen können. Wir wollen der Kürze halber die Kräfte des ersteren Systems Nordkräfte und jene des letzteren Südkräfte heißen.

Fig. 345.



Da parallele nach einerlei Seite hin wirkende Kräfte (nach **59**) eine Resultirende haben, welche der Summe dieser Kräfte gleich ist, eine mit diesen parallele Richtung hat und als deren Angriffspunkt der Mittelpunkt der parallelen Kräfte angesehen werden kann; da ferner dem Vorhergehenden zu Folge in jedem Magnete eben so viel Nord- als Südmagnetismus inwohnt (indem jedes einzelne Elementartheilchen eines Magnets Nord- und Südmagnetismus in gleichen Mengen enthält), mithin die Summe sämmtlicher Nordkräfte der Summe aller Südkräfte gleich ist: so reducirt sich die gesammte magnetische Wirkung der Erde gegen einen Magnet (dessen Dimensionen im Verhältniß zu jenen der Erde verschwinden) auf zwei gleiche entgegengesetzt wirkende Kräfte, deren Angriffspunkte in Bezug auf die Lage von der Vertheilungsweise der Magnetismen in dem betreffenden Magnete abhängen. Bezeichnen **N** und **S** für beide einander gleiche und entgegengesetzte Resultirenden, deren jede **R** heißen mag, diese Angriffspunkte, welche die mathematischen Pole des Magnets bilden und, wie die Rechnung zeigt, bei längeren Stäben immer gegen die Enden zu liegen müssen, und ist der Magnetstab in seinem Schwerpunkte aufgehängt oder unterstützt, so daß er sich als schwerlos betrachten, aber nach allen Richtungen frei drehen läßt: so kann der unter der Einwirkung des Erdmagnetismus stehende Stab nur dann in Ruhe (im Gleichgewichte) sein, wenn er eine Lage angenommen, bei welcher die Richtungen **Nx** und **Sy** in die Verlängerungen der Verbindungslinie der Punkte **N** und **S** fallen. Da diese Verbindungslinie, welche die magnetische Axe des Magnetstabes heißt, dann den Richtungen der erdmagnetischen Kräfte parallel ist, so zeigt die magnetische Axe einer nach allen Seiten hin frei drehbaren (in ihrem Schwerpunkte aufgehängten) und zur Ruhe gekommenen Magnetnadel immer die Richtung des Erdmagnetismus (der Resultirenden **P** sämmtlicher erdmagnetischen Kräfte) an (bei dünnen, durch Längenstriche vorsichtig magnetisirten Stäben liegt diese Axe der Längerichtung des Stabes parallel); demnach ist für jeden Ort die Richtung des gesammten Erdmagnetismus **P** immer der Ebene des magnetischen Meridians parallel und bildet mit dem Horizont einen der magnetischen Neigung des Ortes gleichen Winkel . . . . (113)

Auch ersieht man aus der Gleichheit der zwei Resultirenden **R**, **R** und aus dem Gegensatze in den Richtungen derselben, daß die magnetische Kraft der Erde für sich allein einem, wenn auch völlig frei beweglichen Magnet keine fortschreitende, sondern (vorausgesetzt, daß er sich nicht schon in der oben bezeichneten Gleichgewichts-

lage befindet) nur eine drehende Bewegung zu ertheilen vermag und daß der Erdmagnetismus weder auf das Gewicht eines Magnets, noch auf die Richtung, nach welcher er zu Boden fällt, Einfluß nehmen könne. Da alle diese Folgerungen nur aus der Voraussetzung entspringen, daß jeder Magnet gleichviel nördlichen und südlichen Magnetismus enthält, so ist der Umstand, daß die Erfahrung das wirkliche Stattfinden dieser Folgerungen bestätigt, zugleich Beweis für die Richtigkeit jener Voraussetzung.

Wird eine Magnetnadel aus ihrer Gleichgewichtslage im magnetischen Meridiane herausgebracht und dann sich selbst überlassen, so kehrt sie durch eine Reihe von Oscillationen wieder in diese Gleichgewichtslage zurück und beobachtet dabei die Gesetze der Pendelbewegung, so daß die auf S. 99 für die Schwingungszeit eines einfachen Pendels aufgestellte Formel $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ auch die Schwingungszeit einer Magnetnadel repräsentirt, wenn man darin g die Intensität der erdmagnetischen Kraft (welche bei der Nadel so wie die Schwere beim Pendel die Bewegung bewirkt) und l eine, für die nämliche Nadel constante (nur vom Trägheitsmomente und vom magnetischen Momente der Nadel abhängige und dem Quotienten aus letzterem in ersteres gleiche) Größe bedeuten läßt . . . . (114)

Ist die Nadel eine Inclinationsnadel, und schwingt sie in der Ebene des magnetischen Meridians frei um eine horizontale Axe, so thut sie dies nach (113) unter dem Einflusse des gesammten Erdmagnetismus **P**; die Schwingungen einer nur in horizontaler Ebene beweglichen Nadel (einer Declinationsnadel) hingegen erfolgen nur unter der Wirkung der horizontalen Componente (**H**) der erdmagnetischen Kraft und es ist daher in vorstehender Formel anstatt g zur Erlangung der Schwingungszeit einer Inclinationsnadel die ganze erdmagnetische Kraft **P** und einer Declinationsnadel die horizontale Componente **H** dieser Kraft zu setzen. (115)

Ist nämlich **ns** (Fig. 346) die Richtung der magnetischen Axe einer um die horizontale Axe **c** in der Ebene des magnetischen Meridians zur Ruhe gekommenen und darin frei beweglichen Magnetnadel, und man bringt sie in dieser Ebene in eine von **ns** verschiedene Lage, z. B. **NS**, so wirkt offenbar die ganze magnetische Erdkraft **P** auf **N** nach der zu **ns** parallelen (und auf **S** nach der entgegengesetzten) Richtung **Nx**, und man begreift, daß diese Kraft die Nadel in die Gleichgewichtslage **ns** ebenso zurückführen müsse, wie die Schwere ein Pendel aus einer schiefen Richtung in die vertikale zurückbringt. Eine Inclinationsnadel erhält demnach ihre Richtung durch die totale erdmagnetische Kraft. Daß hingegen eine aus der Gleichgewichtslage gebrachte Declinationsnadel wieder in diese Lage nur durch die horizontale Componente des Erdmagnetismus zurückgeführt (eine Declinationsnadel nur durch die besagte Componente gerichtet) werde, wird aus Folgendem einleuchten. Es sei **ABCD** (Fig. 347) eine zum magnetischen Meridian parallele und **abcd** sei eine horizontale Ebene. Der Pfeil **ns** stelle eine nur in der Ebene **abcd** um eine durch **o** gehende vertikale Axe bewegliche Magnetnadel (eine Declinationsnadel) in ihrer Gleichgewichtslage (im magnetischen Meridiane) vor und die in der Ebene **ABCD** liegende Linie **xy** repräsentire die Richtung der erdmagnetischen Kraft **P**, mithin der Winkel **xon** die Inclination **i**. Bringt man nun die Magnetnadel in der Horizontalebene **abcd** in die Stellung n_1 s_1 und denkt sich die ganze die Nadel afficirende magnetische Erdkraft **P** auf n_1 wirkend, so kann diese der Größe und Richtung nach

Fig. 346.

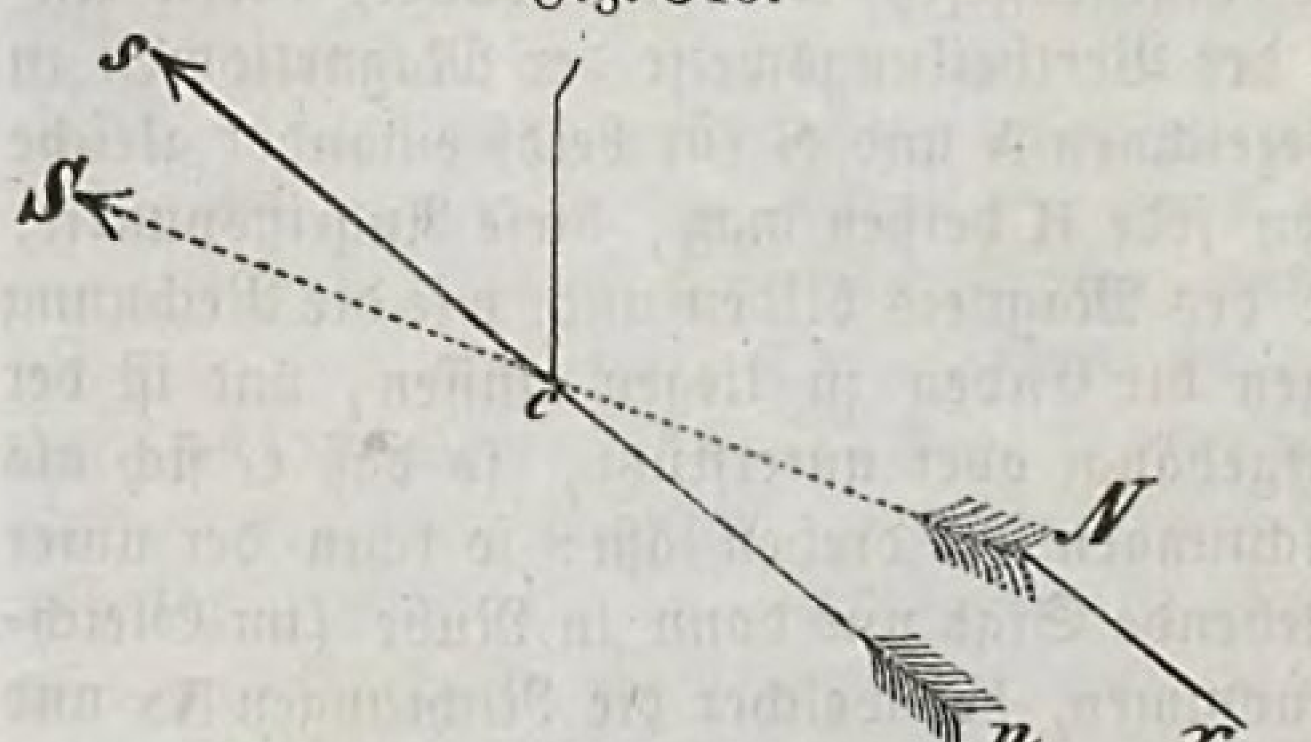
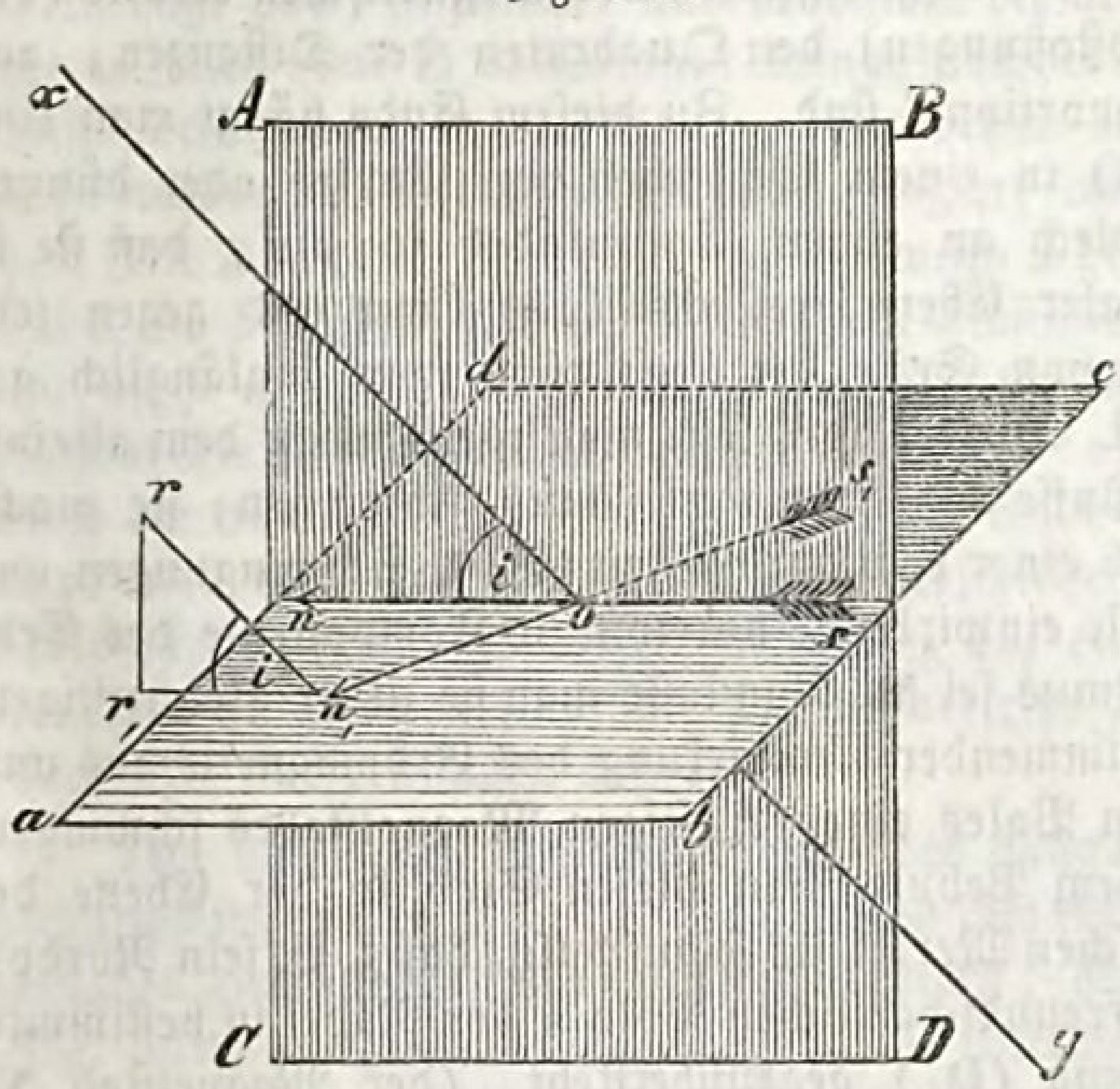


Fig. 347.



durch die Linie $n_1\,r$ vorgestellt werden, welche in einer zu **ABCD** parallelen Ebene liegt und mit der Horizontalebene **abcd** einen der Inclination **i** gleichen Winkel $r\,n_1\,r_1$ bildet. Zerlegt man die Kraft $P = n_1 r$ in zwei Componenten rr_1 und $r_1\,n_1$, so daß rr_1 auf **abcd** senkrecht steht und $r_1\,n_1$ in diese Ebene hineinfällt; so bleibt erstere auf die Bewegung der Nadel in der Ebene **abcd** ganz ohne Einfluß; diese wird einzig und allein durch die horizontale Componente $r_1\,n_1$ zur Rückkehr in die Lage ns angetrieben und die Größe dieser Componente ergibt sich aus dem rechtwinklichen Dreiecke $rr_1\,n_1$, indem $r_1 n_1 = n_1 r \cos. i = P . \cos. i$ ist . . . (116)

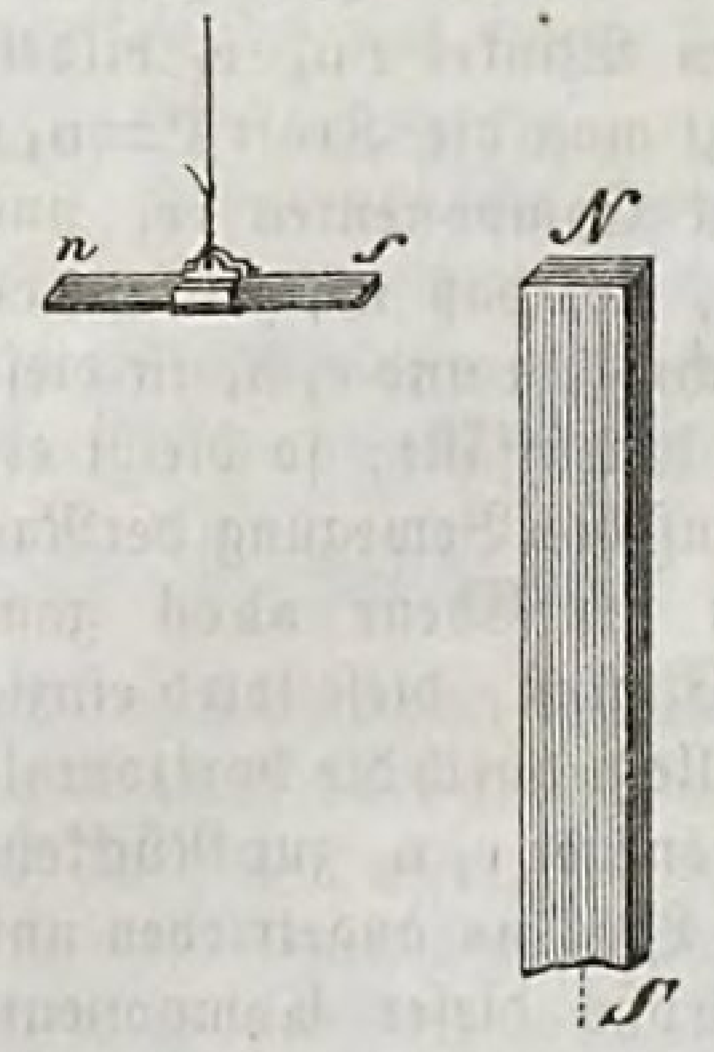
178. Maß der magnetischen Kräfte. Läßt man an zwei verschiedenen Orten eine und dieselbe Magnetnadel schwingen, ohne daß von einem Orte zum andern die Quantität oder die Anordnung des Magnetismus der Nadel sich geändert hat; so sind die Schwingungszeiten **T**, T_1 und die Schwingungszahlen **N**, N_1 nur von den Intensitäten **J**, J_1 der erdmagnetischen Kräfte abhängig, unter deren Wirkung die Schwingungen an beiden Orten Statt finden, und man hat nach (114) Seite 364, (50) S. 100 und (53) S. 101, $T^2 : T_1{}^2 = J_1 : J$ ...(1) und $N^2 : N_1{}^2 = J : J_1$ ...(2). Da, wenn die schwingende Nadel eine Inclinationsnadel ist, **J** und J_1 die an den erwähnten Orten sich äußernden, totalen erdmagnetischen Kräfte **P**, P_1, wenn die Nadel hingegen eine Declinationsnadel ist, die horizontalen Componenten **P cos. i**, und $P_1 \cos. i_1$ bedeuten; so folgt mit Bezug auf (1) und (2), daß beim Schwingen einer Inclinationsnadel die totalen erdmagnetischen Kräfte den Quadraten der Schwingungszeiten umgekehrt und den Quadraten der Schwingungszahlen direct, beim Schwingen einer Declinationsnadel aber den besagten Quadraten dividirt durch die Cosinus der Inclination an den betreffenden Orten in der angegebenen Weise proportional sind . . . . (117)

Schwingen an einem und demselben Orte gleichzeitig Nadeln von ungleich starken magnetischen Kräften **M**, M_1, so sind, da die Nadeln und die Erde gegenseitig auf einander einwirken und die Intensität des Erdmagnetismus in beiden Fällen die nämliche ist, die magnetischen Actionen der Erde auf die Nadeln offenbar den Intensitäten der in diesen vorhandenen Magnetismen direct proportional, und es bestehen die nämlichen Proportionen, wie oben unter (1) und (2), vorausgesetzt, daß **J**, J_1 die Intensitäten der Magnetismen, **T**, T_1 die Schwingungszeiten und **N**, N_1 die Schwingungszahlen beider an einem und demselben Orte gleichzeitig oscillirenden Nadeln bezeichnen. Es sind demnach die besagten Intensitäten den Quadraten der Schwingungszeiten umgekehrt und den Quadraten der Schwingungszahlen der Nadeln direct proportional. Durch Schwingungsversuche kann man also das Verhältniß der magnetischen Erdkräfte an verschiedenen Orten oder an dem nämlichen Orte zu verschiedenen Zeiten, und die relativen Stärken verschiedener Magnetnadeln bestimmen.

179. Gesetz der Wirkung magnetischer Kräfte in Bezug auf die Entfernung. Es läßt sich, und zwar am einfachsten wieder durch

Schwingungsversuche, erweisen, daß die Intensitäten der magnetischen Kräfte (der magnetischen Anziehungen und Abstoßungen) den Quadraten der Distanzen, auf welche sie wirken, umgekehrt proportional sind. Zu diesem Ende hängt man eine kleine Magnetnadel **ns** (Fig. 348) in einem Schiffchen von Papier oder dünnen

Fig. 348.



Messingblech an einem Coconfaden so auf, daß sie in horizontaler Ebene frei oscilliren kann und gegen jede Störung von Seite der Luftströmungen hinlänglich geschützt ist. Diese Nadel läßt man zuerst unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus schwingen; sie mache innerhalb einer bestimmten Zeit (**Z**) **A** Schwingungen und die auf sie einwirkende horizontale Componente des Erdmagnetismus sei **M.** Nun lasse man sie unter gleichzeitiger, übereinstimmender Einwirkung des Erdmagnetismus und des einen Poles eines kräftigen Magnetstabes schwingen, zu welchem Behufe man diesen Stab in der Ebene des magnetischen Meridians so aufstellt, daß z. B. sein Nordpol **N** dem freundschaftlichen Pole **s** der Nadel in bestimmter Entfernung (D_1) gegenübersteht, (der Magnetstab **NS** muß so lang sein, daß der Abstand der Pole **Ns** im Verhältniß zur gegenseitigen Entfernung der Pole **sS** sehr klein ist, man also die Wirkung dieser letzteren Pole aufeinander ohne merkliche Fehler vernachlässigen kann). Bedeutet A_1 die Anzahl Schwingungen, welche die Nadel jetzt in der Zeit **Z** macht und M_1 die magnetische Action des Stahlmagnetes auf die Nadel, also $M+M_1$ die Kraft, womit die Erde und der Magnet die Nadel afficiren; so hat man dem Vorangegangenen zu Folge $M : M+M_1 = A^2 : A^2_1$ oder nach Subtraction der Vordersätze von den Nachsätzen $M : M_1 = A^2 : A^2_1 - A^2$ ... (I). Bringt man hierauf den Stahlmagnet **NS** unter sonst gleichen Umständen in eine größere Distanz D_{11} gegen die Nadel **ns** und läßt diese wieder schwingen; so wird sie in der Zeit **Z** eine andere Anzahl A_{11} Schwingungen machen. Es muß demnach auf die Nadel, da die Einwirkung des Erdmagnetismus auf dieselbe unverändert bleibt, der Stahlmagnet eine andere Action M_{11} üben, und man hat aus den nämlichen Gründen wie vorher, $M : M + M_{11} = A^2 : A^2_{11}$ oder $M : M_{11} = A^2 : A^2_{11} - A^2$ ... (II).

Aus (I) und (II) folgt $M_1 : M_{11} = A^2_1 - A^2 : A^2_{11} - A^2$ ... (III) und da der auf die angegebene Art ausgeführte Versuch für $A^2_1 - A^2$ und $A_{11}{}^2 - A^2$ Zahlen gibt, die sich sehr nahe umgekehrt wie die vorbezeichneten Distanzen D_1 und D_{11} verhalten, demnach $A_1{}^2 - A^2 : A_{11}{}^2 - A^2 = D_{11}{}^2 : D_1{}^2$ ist; so folgt $M_1 : M_{11} = D_{11}{}^2 : D_1{}^2$, d. h. die von dem Pole eines Magnetstabes auf eine Magnetnadel aus verschiedenen Distanzen ausgehenden Anziehungskräfte verhalten sich verkehrt wie die Quadrate dieser Distanzen, und dieses Gesetz läßt sich auf die gegenseitige Wirkung je zweier magnetischer Theilchen ausdehnen . . . . (118)

Hätte z. B. die Nadel ns in einer Minute unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus 15, hingegen unter gleichzeitiger Einwirkung des Erdmagnetismus und Magnetpoles S aus der Distanz von 4 Zoll 41 und aus der doppelten Distanz (8 Zoll) 24 Schwingungen gemacht; so wäre $A_1^2 - A^2 = 41^2 - 15^2 = 1456$ und $A_{11}^2 - A^2 = 24^2 - 15^2 = 351$, mithin $M_1 : M_{11} = 1456 : 351$ oder sehr nahe $= 4 : 1$ oder $2^2 : 1$; es verhalten sich also die Kräfte (M_1 und M_{11}), womit der Magnetpol S auf die Nadel aus Distanzen (D_1 und D_{11}) wirkt, die im Verhältnisse 1 : 2 stehen, wie $2^2 : 1$, d. h. umgekehrt wie die Quadrate dieser Distanzen.

180. Maß der relativen Stärke der Magnete und Bestimmung der Anordnung des Magnetismus an den verschiedenen Punkten derselben. Um zwei Magnete (sie mögen Kürze halber **I** und **II** heißen) in Bezug auf ihre Stärke mit einander zu vergleichen, stelle man zuerst den einen, z. B. den Magnet **I**, nach Art des im vorigen Paragraphe besprochenen Magnetstabes **NS** in gewissem Abstande einer Schwingungsnadel (von der Art wie

ns in Fig. 348) gegenüber und beobachte die Anzahl a_I Schwingungen, welche letztere in einer Zeit **Z** vollbringt, bringe nachher den Magnet **II** unter ganz gleichen Umständen genau an die Stelle, wo vorher der Magnet **I** sich befand, und beobachte wieder die Anzahl a_{II} Schwingungen, welche die Nadel **ns** jetzt in der nämlichen Zeit **Z** macht. Es besteht dann, wenn **a** die Anzahl Schwingungen, welche die Nadel in der Zeit **Z** unter alleinigem Einflusse der erdmagnetischen Kraft **m** macht und m_I, m_{II} die magnetischen Intensitäten der beiden Magnete (**I, II**) bedeuten, offenbar die Proportion $m_I : m_{II} = a_I{}^2 - a^2 : a_{II}{}^2 - a^2 \ldots$ (**IV**). Sie wird genau durch die nämliche Schlußfolge erhalten, welche vorne zur Proportion (**III**) führte, wenn man nur berücksichtigt, daß die verschiedenen Wirkungen, welche zwei ungleich starke Magnetstäbe aus derselben Distanz auf eine Magnetnadel üben, ganz den Actionen zu vergleichen sind, die ein und derselbe Magnet auf die Nadel aus zwei verschiedenen Entfernungen äußert.

Um das Gesetz der Anordnung des Magnetismus (der durch die Erfahrung nachgewiesenen Abnahme der Stärke des Magnetismus von den Enden eines Magnetstabes gegen seine Mitte hin) zu erörtern, bringe man den betreffenden Stab **NS** (Fig. 349) in vertikaler Stellung in die Gleichgewichtsebene (den magnetischen Meridian) einer kleinen Schwingungsnadel **ns**, verrücke denselben, ohne ihn aus seiner vertikalen Stellung in der besagten Ebene herauszubringen, nach und nach in der Richtung von **N** nach **S** hin, so, daß immer ein anderer der Querschnitte 1, 2, 3, u. s. w. der Nadel horizontal und stets in gleicher Entfernung gegenüber liegt, beobachte bei jeder solchen Stellung des Stabes die Anzahl Schwingungen, welche die Nadel in einer gewissen Zeit vollbringt, und bestimme nach diesen Daten, indem man die verschiedenen Querschnitte des Stabes als eben so viele Pole ungleich starker und in gleichen Distanzen von der Nadel aufgestellter Magnete betrachtet, das Verhältniß der magnetischen Intensitäten an diesen Querschnitten. Bei solchen Versuchen zeigt sich den Polen des Stabes gegenüber die größte Beschleunigung der Schwingungen der Nadel und diese Beschleunigung nimmt von den Polen des Magnetstabes gegen seine Mitte zu immer ab; wenn die Nadel dieser Mitte selbst gegenüber steht, schwingt sie gerade so schnell, als ob der Stab gar nicht da wäre, zum Beweis, daß die Kraft eines Magnetstabes von seinen Polen gegen die Mitte hin immerfort abnehme und in der Mitte selbst Null sei, was man auch dadurch anschaulich machen kann, daß man den Magnetstab in Eisenfeilspäne taucht. Diese werden nämlich an den Enden desselben in größter Menge hängen bleiben, gegen seine Mitte hin wird deren Menge immer abnehmen, und die Mitte selbst wird ganz von Eisenfeilspänen frei sein, so daß der Stab das Aussehen wie Fig. 350 hat. Jede Stelle, wo ein Magnet keine magnetische Kraft zeigt, heißt ein Indifferenzpunkt. Bei ungleichförmig magnetisirten Stäben liegen die Indifferenzpunkte nicht in der Mitte, und wenn der Stab Folgepunkte (S. 355) hat, enthält er auch mehrere Indifferenzpunkte.

Fig. 349.

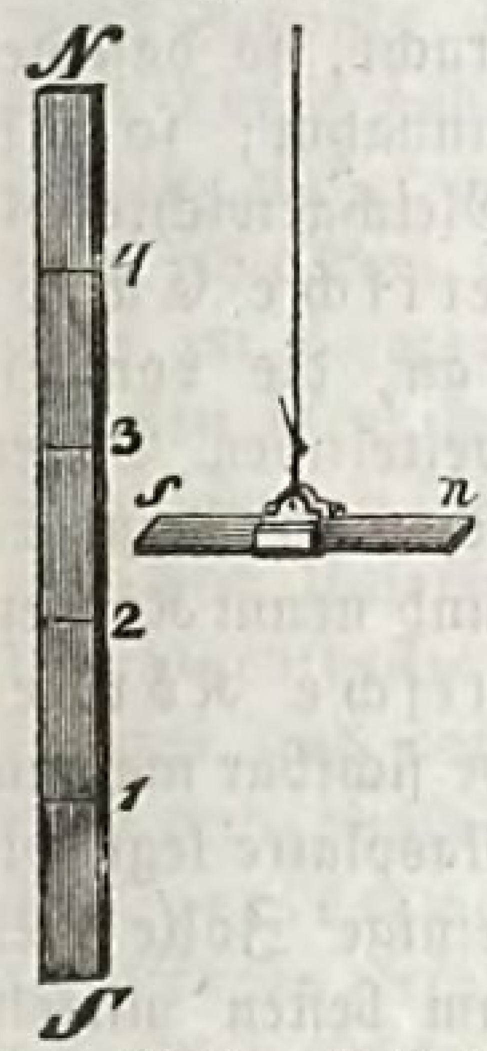
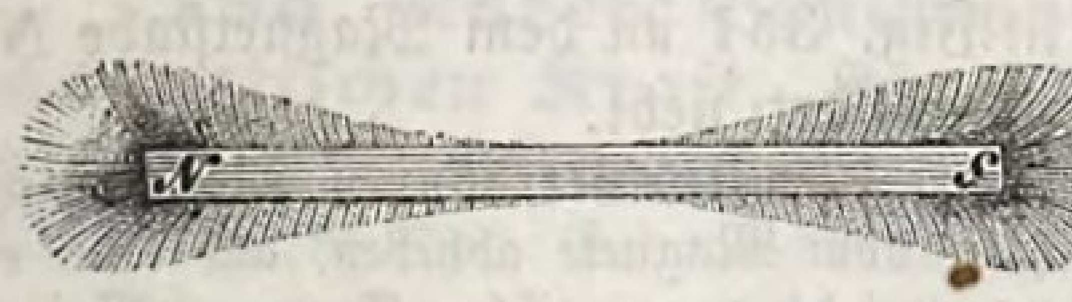


Fig. 350.



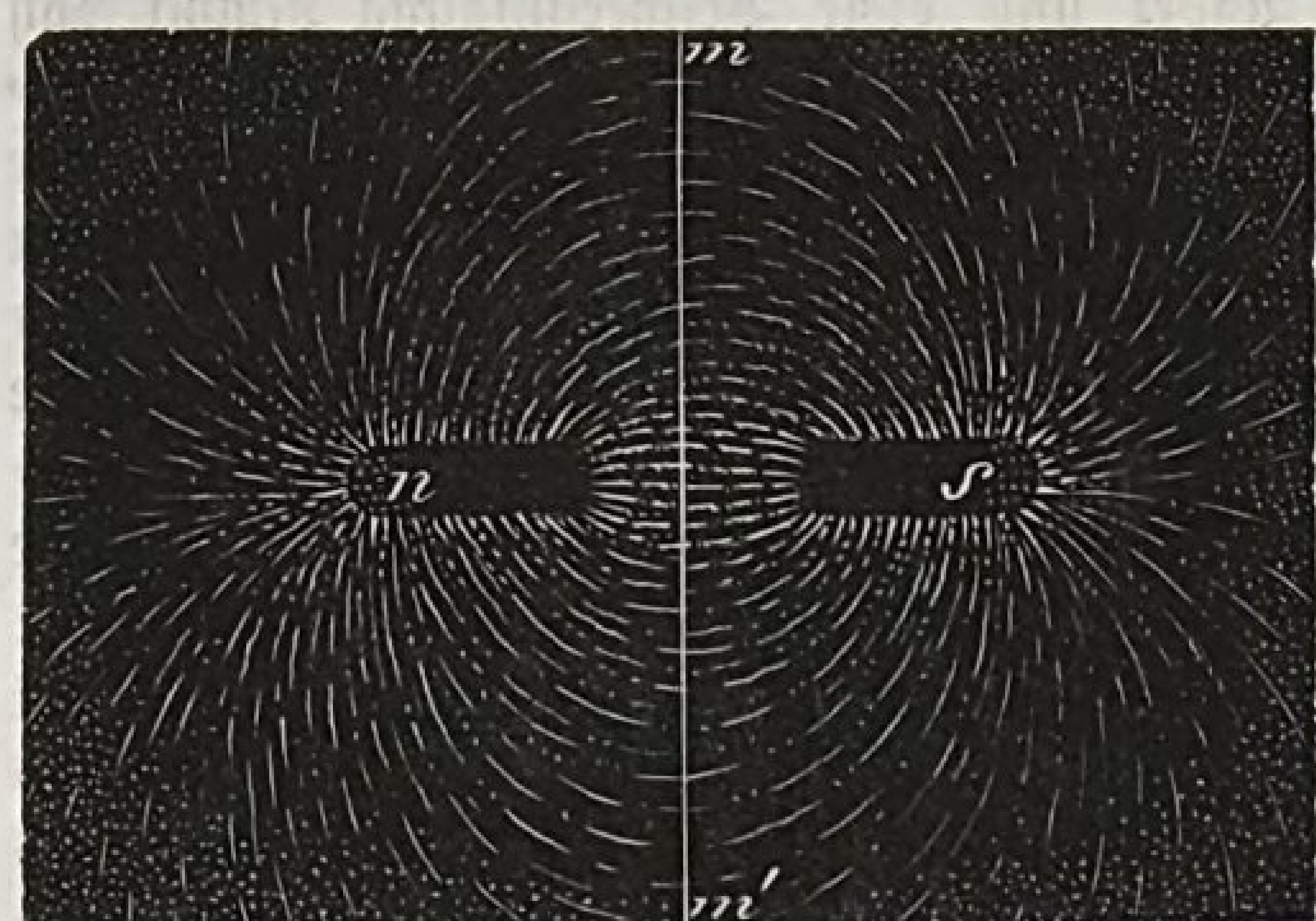
Die erwähnten Schwingungsversuche lehren auch alles, was vorne an verschiedenen Orten über die Stärke der Magnete, die Punkte, die darauf Einfluß nehmen, die Anordnung des Magnetismus in Magneten u. s. w. mitgetheilt wurde (man vergleiche vorzüglich die S. 357—360). Sie bestätigen endlich, daß, wie auch andere Beobachtungen zeigen, durch regelmäßiges Streichen erzeugte Magnetstäbe auf magnetische Theilchen in ihrer Umgebung dergestalt einwirken, als ob alle

magnetischen Nordkräfte auf der einen, alle Südkräfte hingegen auf der andern Hälfte des Stabes gelagert und zwar der größte Theil dieser Kräfte an den Enden desselben zusammengedrängt wäre, und rechtfertigen die Annahme, daß die Gesammtwirkungen der Nord- und Südkräfte in zwei Punkten der Axe des Stabes concentrirt sind, die dessen Enden sehr nahe und in gleichen Abständen von denselben liegen, und welche Punkte man gewöhnlich die Pole des Stabes nennt.

Zur Ermittlung der Anordnung des Magnetismus in Magneten kann man sich auch der auf S. 350 unter (†) erwähnten Kolke'schen Loßreißungsmethode bedienen. Durch sie hat Kolke unter Andern gefunden, daß bei einem geradlinigen, regelmäßig magnetisirten Stahlstab der Magnetismus an den Kanten stärker als auf den Flächen, auf den schmalen Flächen stärker als auf den breiten ist, daß das Maximum des Magnetismus an den Ecken der Enden ist, daß das Verhältniß, in welchem die Stärke des Magnetismus von der Mitte gegen die Enden zunimmt, anfangs langsam, dann immer schneller wachse, ferner von der Stärke des Magnetismus überhaupt und vom Verhältniß der Längen- zur Breitenausdehnung abhänge.

181. Magnetische Curven. Wird eine sehr kleine, um ihren Schwerpunkt nach allen Seiten frei bewegliche Magnetnadel in die Nähe eines magnetischen Körpers gebracht, so nimmt sie eine bestimmte stabile Gleichgewichtsstellung an, welche von ihrer Lage gegen den Körper und von dessen magnetischem Zustande abhängt. Denkt man sich nun die Nadel nach allen Richtungen hin um den magnetischen Körper herum immer in andere Positionen gegen diesen gebracht, so daß der eine ihrer Pole stets den Platz erhält, welchen früher der andere einnahm; so bilden die Richtungen der Nadel in den nach einanderfolgenden Gleichgewichtsstellungen die Tangenten einer krummen Linie, welche eine magnetische Curve heißt. Jedem Magnete gehört ein System magnetischer Curven an, die von seinen Polen ausgehen und um denselben in sich immer mehr erweiternden Bögen herumlaufen. Faraday bezeichnet die Aeußerungen der magnetischen Kraft in den magnetischen Curven kurz mit dem Worte Magnetkraftlinien und nennt Körper, welche von Magnetkraftlinien durchschnitten werden, diamagnetische Körper ... (*). Man kann die magnetischen Curven bei einem Magnetstabe sichtbar machen, wenn man ihn horizontal unter eine Papierfläche oder eine dünne Glasplatte legt, die über seine Enden einige Zolle weit hinausreicht und (am besten mittelst eines Siebes) feine Eisenfeilspäne gleichförmig darauf streut. Jedes Eisenspänchen vertritt da in Folge einer von Seite des Stabes bewirkten Magnetisirung durch Vertheilung die Stelle einer kleinen, in der Gleichgewichtslage befindlichen Magnetnadel und die Reihen aneinander hängender Eisentheilchen zeigen deutlich den Lauf der magnetischen Curven, die man in Fig. 351 an dem Magnetstabe **NS** abgebildet sieht.

Fig. 351.



Ist das Papier, worauf die Curven erzeugt wurden, mit einer dünnen Wachsschichte überzogen, so darf man dasselbe nachher nur vorsichtig vom Magnete abheben, auf eine erwärmte Platte legen und das Wachs schmelzen machen, um die magnetischen Curven zu fixiren.

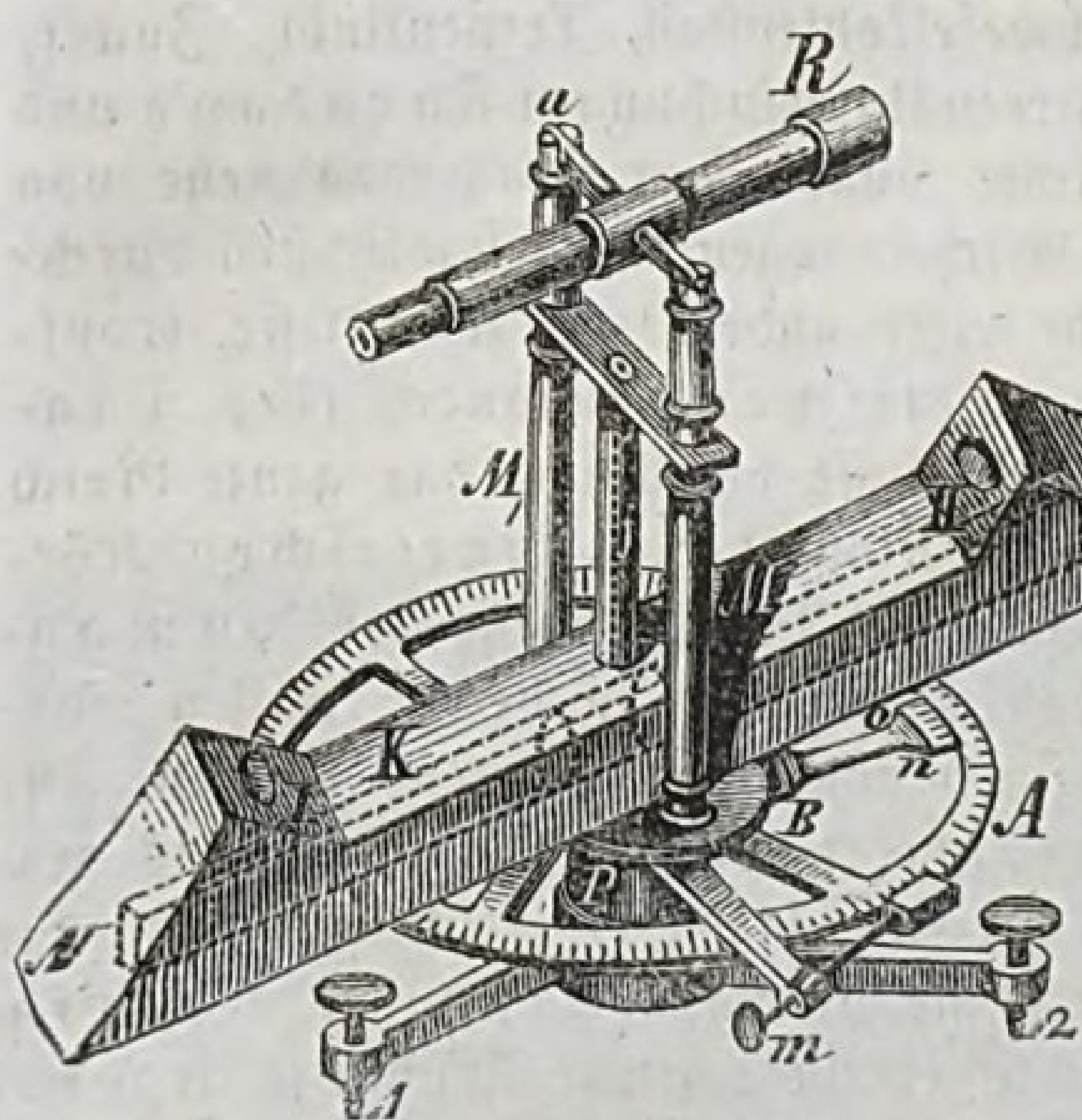
182. Verhalten der sogenannten nicht-magnetischen Stoffe gegen Magnete. Diamagnetismus. Schon seit Coulomb weiß man, daß kleine frei schwebende Nadeln aus was immer für einem organischen oder unorganischen Stoffe, zwischen die entgegengesetzten Pole starker Magnete gebracht, stets eine bestimmte Stellung annehmen und beim Schwingen durch diese Pole bedeutend beschleunigt werden, woraus folgt, daß alle, auch die sogenannten un-

magnetischen Substanzen von Magneten eine gewisse Einwirkung erfahren. Ueber die eigentliche Art dieser Einwirkung hat in der neuesten Zeit (1845) zuerst Faraday eine nähere Aufklärung gegeben und seine Untersuchungen in dieser Beziehung haben zu dem Hauptresultate geführt, daß sehr viele der Substanzen, die nach dem vorne in **172** aufgestellten Begriff eines magnetischen Körpers unmagnetisch heißen, einen eigenthümlichen Zustand erlangen, wenn sie von Magnetkraftlinien durchschnitten werden, d. h. (in dem oben unter (*) bezeichneten Sinne) diamagnetisch sind. In diesem Zustande, welchen Faraday vorzugsweise den diamagnetischen nannte, nehmen sie, vorausgesetzt, daß sie eine längliche Gestalt, z. B. Stabform haben und frei beweglich sind, zwischen den Polen eines sehr kräftigen Magnetes eine Stellung an, die zu der von Pol zu Pol oder längst einer Magnetkraftlinie gehenden (axialen) Linie winkelrecht (äquatorial) ist, und es kann dabei jedes Ende des Stabes gleichgiltig nach jeder Seite der axialen Linie gehen. Zugleich werden die betreffenden Körper von jedem Pole des Magnets (mit einer von der Distanz des Poles abhängigen Kraft) abgestoßen, diese Abstoßung findet bei jeder auch nicht länglichen Gestalt des Körpers Statt, und auch ein einziger Magnetpol bewirkt sowohl die äquatoriale Richtung, als die Abstoßung. Viele diamagnetische Substanzen äußern überdies auf Licht gewisser Beschaffenheit eine eigene Wirkung, die jedoch erst in der Lehre vom Lichte näher besprochen werden kann. Die äquatoriale Richtung und die Abstoßung findet am stärksten bei Wismuth, Antimon und kieselborsaurem Bleioxyde oder schwerem Glase Statt, und die eigenthümliche Wirkung auf das Licht äußern im diamagnetischen Zustande nach dem kieselborsauren Bleioxyde am auffallendsten Flintglas, Steinsalz, Zinnchlorid, Schwefelkohlenstoff, Terpentinöl, Zucker, Weinsäure u.s.w. Uebrigens sind nach den weiteren Untersuchungen Faraday's und nach den Untersuchungen von Plücker, welcher außer Faraday das neue von diesem entdeckte Gebiet der diamagnetischen Erscheinungen am gründlichsten durchforschte und am meisten erweiterte, noch sehr viele andere und zwar feste, tropfbare und ausdehnsame Körper des diamagnetischen Zustandes (des Diamagnetismus) fähig, und man ist zu dem Schlusse berechtigt, das ganze Reich der Körper zerfalle in zwei Klassen, nämlich in die Klasse der magnetischen Körper, d. i. solcher die von Magneten angezogen und in die Klasse der diamagnetischen, d. i. solcher Körper, welche von Magneten (in beiden Fällen vorausgesetzt, daß die Magnete kräftig genug sind) abgestoßen werden, so daß alle Materie der Magnetkraft ebenso unterworfen erscheint, wie der Schwere. Das nähere Detail der hierher gehörigen (der diamagnetischen) Erscheinungen, die Beschreibung der besten und einfachsten Mittel sie hervorzubringen, so wie eine theoretische Würdigung derselben, wird später in einem eigenen Abschnitte gegeben werden, nachdem wir nämlich noch einige zum gehörigen Verständniß Alles dessen nöthige Vorkenntnisse in der im nächsten Abschnitte abgehandelten Elektrizitätslehre uns werden erworben haben . . . . (119)

183. Nähere Bestimmung der Richtung und Größe der erdmagnetischen Kraft. Aus **177** wissen wir bereits, daß die Axe einer in ihrem Schwerpunkte frei aufgehängten und zur Ruhe gekommenen Magnetnadel die Richtung des Erdmagnetismus anzeige. Diese ist daher durch die Lage dieser Axe gegeben, und wird wie diese Lage durch die Winkel, welche die besagte Axe mit dem geographischen Meridiane und mit dem Horizonte des Beobachtungsortes einschließt, d. h. durch die magnetische Declination und Inclination bestimmt. Zu genauerer Bestimmung beider dienen eigene Instrumente, welche Declinatorien und Inclinatorien heißen. Ohne in eine nähere Beschreibung der verschiedenen mehr weniger complicirten Constructionen und des, viele Vorsichten und Berichtigungen erheischenden Gebrauches dieser Instrumente eingehen zu kön-

nen, wollen wir hier nur kurz und blos im Allgemeinen eine der vorzüglicheren Einrichtungen zuerst eines Declinatoriums und nachher eines Inclinatoriums andeuten. Ersteres Instrument (wie es von Gambey angegeben wurde) besteht im Wesentlichen aus einem längeren Magnetstabe, der horizontal in einem entsprechend langen, viereckigen Glaskasten schwebt und an einem feinen ungedrehten Faden aufgehängt ist, welchen eine aus der obern Wand des Kastens vertikal emporsteigende Glasröhre einschließt. Der Kasten läßt sich über einem horizontal gestellten, getheilten Kreise und diesem Kreise parallel um eine durch dessen Mittelpunkt gehende vertikale Axe drehen und über der Fadenröhre ist ein Fernrohr angebracht, welches in einer Vertikalebene um eine horizontale Axe beweglich ist, deren Enden von zwei, mit dem Glaskasten unveränderlich vereinigten Säulen getragen werden. Hat man nun den Apparat so aufgestellt, daß das Fernrohr sich in der Ebene des geographischen Meridians bewegt (was durch Richten des Fernrohres auf ein weit entferntes Object (Merkzeichen), welches sich entweder in diesem Meridian selbst oder in einer bekannten Lage gegen denselben befindet, leicht bewerkstelligt werden kann) und dreht dann den Glaskasten und mit diesem auch das Fernrohr um die vorbesagte Vertikalaxe, bis die Längen= (magnetische) Axe des Magnetstabes mit der Längen= (optischen) Axe des Fernrohres in die nämliche Vertikalebene fällt; so gibt der auf dem getheilten Kreise gemessene Winkel, um welchen das Fernrohr aus dem geographischen Meridiane herausgedreht wurde, die magnetische Declination an. Man sieht das Gambey'sche Declinatorium der beschriebenen Art in Fig. 352 abgebildet. **A** ist der durch 3 Stellschrauben wie 1, 2 horizontal stellbare getheilte Kreis; **NS** der an dem Faden hängende Magnetstab; **K** und f Kasten und Röhre, welche Stab und Faden einschließen. Ersterer besteht hier aus Holz oder Messing und ist nur bei **I** und **II** vermittelst eingesetzter Glasscheiben durchsichtig. **M**, $\mathbf{M_1}$ sind die Säulen, welche die horizontale Axe a des Fernrohrs **R** tragen. Kasten **K** und Säulen **M**, $\mathbf{M_1}$ sind auf einer kreisrunden Platte **B** fixirt, die sich auf dem Postamente **P** um eine vertikale Axe in einer zum Kreise **A** parallelen Ebene drehen läßt (die feinere Bewegung erhält sie vermittelst der Mikrometerschraube m). Zum Behufe genauer Beurtheilung, wann die magnetische Axe des Stabes **NS** mit der optischen Axe des Fernrohres in eine und dieselbe Vertikalebene fällt, ist die Richtung der ersteren Axe am Stabe markirt und zu diesem Zwecke an jedem seiner Enden entweder ein feiner Längenstrich angebracht, oder ein kupferner Ring angelöthet, der in der Richtung der magnetischen Axe des Stabes einen Spinnefaden oder einen sehr feinen Platindraht ausgespannt enthält, und im Fernrohre ist senkrecht auf dessen optische Axe ein durch dieselbe gehender, in einer Vertikalebene liegender Faden gespannt. Sieht man mit diesem Vertikalfaden im Fernrohre, wenn das Objectiv des letzteren zuerst dem einen, nachher dem zweiten Ende des Magnetstabes zugekehrt wird, die Striche oder Fäden an diesen Enden genau zusammenfallen, so liegen die magnetische Axe des Stabes **NS** und die Längenaxe des Fernrohrs in der nämlichen Vertikalebene. Die Winkel, um welche die Platte **B**, mithin Kasten und Fernrohr in horizontaler Richtung gedreht werden, gibt ein aus **B** wagrecht her=

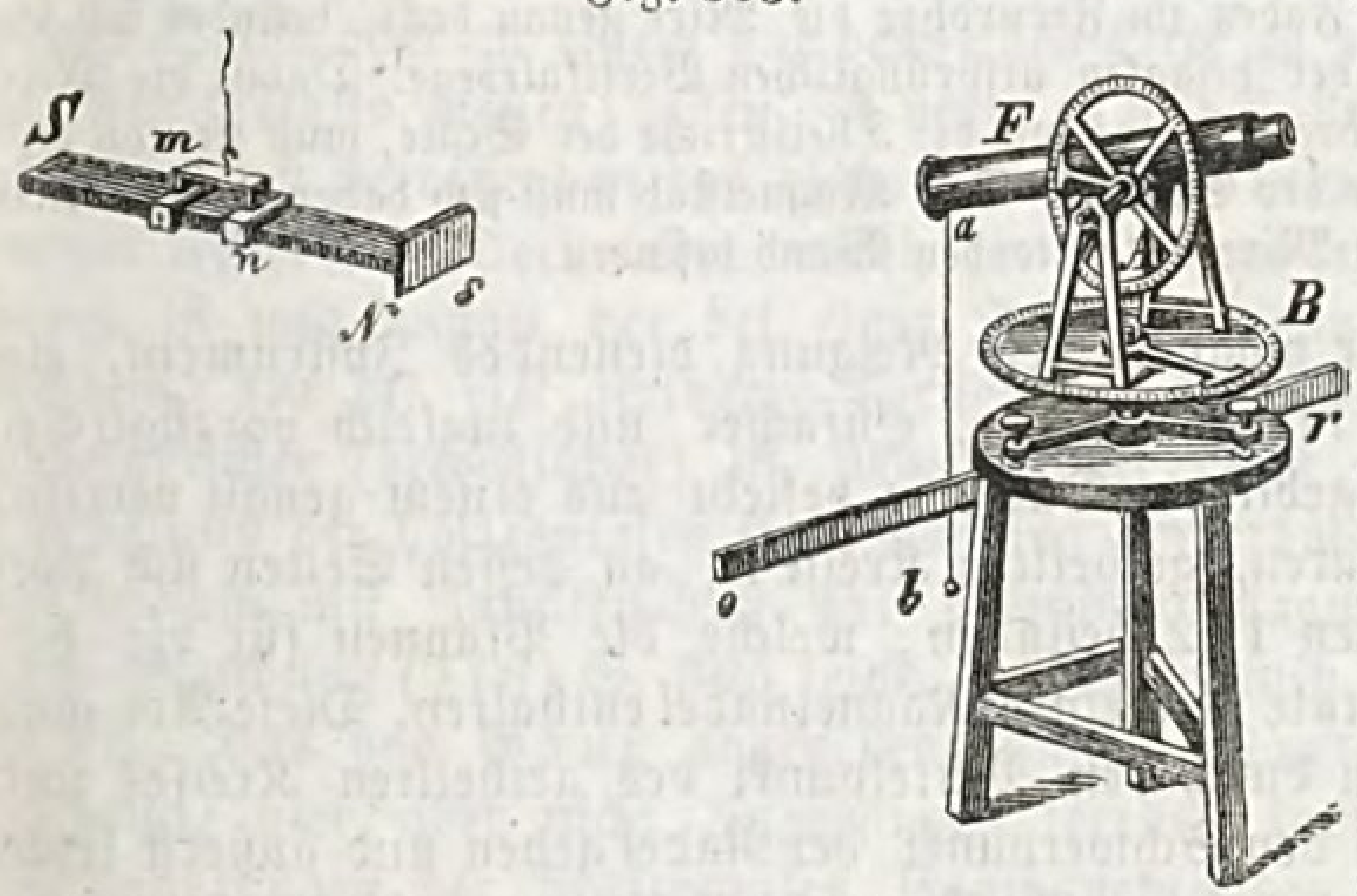
Fig. 352.



vorstehender, am Ende mit einem Nonius n versehener Arm o an. Wo es sich bei Bestimmung der magnetischen Declination um keine große Genauigkeit handelt, kann, wie schon vorne angedeutet worden, der früher beschriebene und in Fig. 341 abgebildete Apparat als Declinatorium dienen. Man darf an demselben nur den Kreis A horizontal und so stellen, daß der in Gedanken durch den Nullpunkt der Theilung gelegte Durchmesser in die Ebene des geographischen Meridians fällt, so zeigt der Bogen, den die Längenrichtung der Nadel ns vom Nullpunkte der Theilung aus abschneidet, die Declination des Ortes an.

Die genauesten Declinations-Bestimmungen gestattet das Gauß'sche Magnetometer. Es besteht aus einem mehrere (5—25) Pfunde schweren, prismatischen Magnetstab NS (Fig. 353), dessen Mitte in einem messingenen Schiffchen mn steckt, welches von einem an der Decke eines völlig eisenfreien Saales befestigten, 7 Fuß langen und aus 200 zu einander parallelen Coconfäden bestehenden, ungedrehten Seidenfaden oder von einem feinen Metalldrahte getragen wird. An dem Nord- oder an dem Südende des Stabes und genau rechtwinklig (†) gegen seine magnetische Axe ist ein kleiner Planspiegel s festgemacht. Der Stab ist zur Abhaltung des Luftzuges in einem Kasten eingeschlossen, durch dessen Decke die Aufhängefäden gehen, und der in der Seitenwand, welcher der Spiegel zugekehrt ist, eine diesen letztern an Größe etwas übertreffende Oeffnung hat. (Der Kasten ist in der Figur weggelassen.) Dieser Oeffnung gegenüber befindet sich in einer Entfernung von 15 Fuß ein Theodolith (welcher in der Wesenheit aus einem Fernrohre F besteht, das mittelst der getheilten Kreise A, B meßbarer Bewegungen um eine horizontale und um eine vertikale Axe fähig ist), so aufgestellt, daß die Axe des Fernrohres bei horizontalem Stande desselben höher liegt als die Ebene, in welcher sich der Magnetstab NS bewegen kann, das Fernrohr demnach etwas nach abwärts geneigt werden muß, um gegen die Mitte des Spiegels s gerichtet zu sein. Am Fußgestelle des Theodolithen ist eine 4 Fuß lange, in 1000 Millimeter getheilte horizontale Scale or rechtwinklig gegen die durch die optische Axe des Fernrohrs, den Aufhängedraht des Magnetstabes und die Mitte des Spiegels gehende Vertikalebene befestigt, und derjenige Theilstrich der Scale, welcher in dieser Vertikalebene liegt, (und hier der Kürze wegen der Mittelpunkt der Scale genannt werden soll), wird durch einen genau über die Mitte des Objectivglases herabhängenden, mit einem Gewichtchen beschwerten feinen Faden (das Loth) ab bezeichnet. Die Scale ist in einer solchen Höhe befestigt, daß das Bild eines Theils derselben im Spiegel durch das Fernrohr gesehen wird. Sieht man nun durch das auf die Mitte des Spiegels gerichtete Fernrohr den durch die Mitte dieses letzteren gehenden vertikalen Faden (des Fadenkreuzes), den Mittelpunkt der Scale und den Faden des Lothes ab sich gegenseitig decken; so ist die Vertikalebene, worin sich die optische Axe des Fernrohres befindet, auf der Ebene des Spiegels senkrecht, mithin gemäß (†) der magnetischen Axe des Stabes NS parallel, die Ebene des magnetischen Meridians selbst, und man hat, um die magnetische Declination zu erhalten, nur den Winkel zu messen, den die besagte Vertikalebene mit dem geographischen Meridiane bildet, zu welchem Ende man das Fernrohr auf einen in diesem Meridiane befindlichen Punkt richtet und auf dem Horizontalkreise B des Theodolithen den Bogen abliest, um welchen das Fernrohr aus der vorigen Stellung in die jetzige bewegt werden mußte. Erfährt die Declination eine Aenderung und es dreht sich der Magnetstab mit der dem Fernrohre zugekehrten Hälfte etwas nach rechts oder nach links, so bewegt sich das Bild der Scale im Spiegel bezüglich des Fadenkreuzes im Fernrohre nach entgegengesetzter Richtung, und es beträgt aus Gründen, über die uns die Theorie des Lichtes belehren wird, die Bewegung des Scalebildes bedeutend mehr als die Drehung des Stabes, so daß alle Abweichungen des letzteren von der Lage, wo seine magnetische Axe in der durch die optische Axe des Fernrohrs gehenden Vertikalebene liegt, leicht mit größter Genauigkeit gefunden werden können, wenn vorher berechnet worden, wie viele Scaletheile auf einen Drehungswinkel von der Größe eines Grades gehen, der wievielte Theil eines Grades

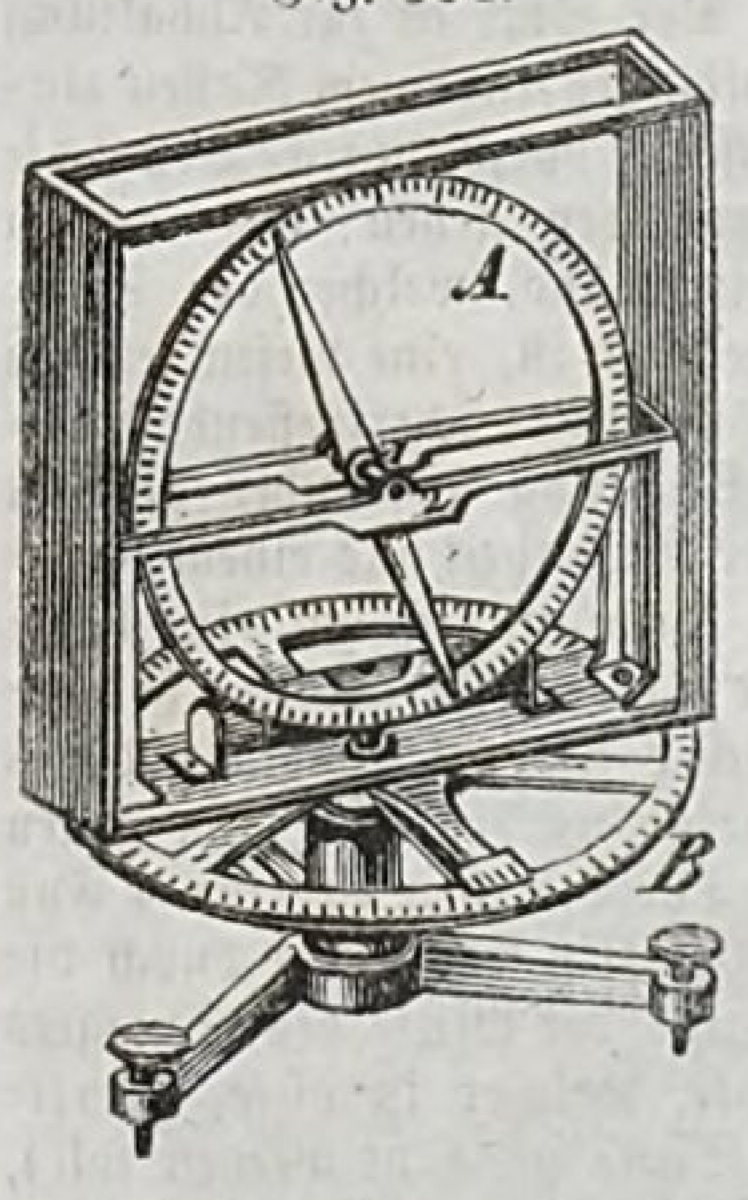
Fig. 353.



also dem Abstande zweier Scalestriche entspricht. Bei dem hier in Rede stehenden Apparate entspricht einer Scaleabtheilung ein Drehungswinkel von 20·63 Sekunden, und man kann, da ein nur etwas geübtes Auge eine solche Scaleabtheilung leicht noch in zehn Theile zu theilen vermag, die Abweichung des Stabes von der Vertikalebene des Fernrohres nahe bis auf 2 Sekunden ausmitteln, kann also, indem man den früher (in dem Falle nämlich, wo magnetische Axe des Stabes und optische Axe des Fernrohrs in eine und dieselbe Vertikalebene fielen) bestimmten Winkel um die besagte Abweichung nach Erforderniß vermehrt oder vermindert, den Winkel aufs Schärfste bestimmen, welchen die Axe des Stabes mit dem geographischen Meridiane macht. Um das Fernrohr jeden Augenblick wieder in die ursprüngliche Position zurückbringen zu können, bei welcher nämlich die Axe des Fernrohrs und die magnetische Axe des Stabes in derselben Vertikalebene sich befanden, wird diese Vertikalebene durch einen vertikalen Strich markirt, den man auf der dem Theolithen gegenüberstehenden Wand des Saales in der Richtung der in dieser Ebene beobachteten magnetischen Axe des Magnetstabes anbringt, und welcher die Mire genannt wird. So oft der vertikale Faden im Fernrohre die Mire genau deckt, befindet sich die optische Axe des letzteren wieder in der besagten ursprünglichen Vertikalebene. Damit die Mire mit gleicher Deutlichkeit im Fernrohre erscheine wie die Theilstriche der Scale, muß sie von diesem doppelt so weit entfernt sein, als der Spiegel. Der Magnetstab muß sich daher in der Mitte zwischen den Theolithen und der die Mire enthaltenden Wand befinden.

Ein zur Bestimmung der magnetischen Neigung dienendes Instrument, ein sogenanntes magnetisches Inclinatorium, einfacher und zugleich vorzüglicher Art sieht man in Fig. 354 abgebildet. Dasselbe besteht aus einem genau vertikal stellbaren, getheilten Kreise **A**, an dessen Seiten sich zwei Stützen 1, 2 befinden, welche die Pfannen für die horizontale Axe einer Magnetnadel enthalten. Diese Axe muß genau durch den Mittelpunkt des getheilten Kreises und durch den Schwerpunkt der Nadel gehen und äußerst leicht beweglich sein. Es ist vortheilhaft, wenn dieser Kreis sich über einem zweiten, horizontalen getheilten Kreise **B** um eine vertikale Axe drehen läßt, weil man dann die Nadel um so leichter genau in den magnetischen Meridian und zu einem gleich nachher zu erwähnenden Zweck in eine darauf senkrechte Ebene stellen kann. Befindet sich die Nadel in ersterer Stellung, so zeigt der Bogen, welchen ihre magnetische Axe von dem in die Horizontalebene gestellten Nullpunkte des Kreises **A** aus abschneidet, die magnetische Neigung an . . . (1). Die Construction eines solchen Instrumentes ist jedoch äußerst delikat, weil es schwer hält, die Magnetnadel um ihre horizontale Axe für den vorliegenden Zweck hinlänglich beweglich zu machen, noch schwerer aber, ja fast unausführbar ist, den Schwerpunkt der Nadel genau in die besagte Axe zu bringen. Aus diesem Grunde und vermöge der ganzen Einrichtung des Instrumentes kann die mit demselben erhaltene Inclination (1) immer nur weit weniger genau sein, als die mittelst der Declinatorien beobachtete Declination.

Fig. 354.



Mit viel mehr Genauigkeit läßt sich die magnetische Neigung durch Schwingungsversuche bestimmen, indem man nämlich eine gehörig justirte Inclinationsnadel zuerst in der Ebene des magnetischen Meridians und nachher in einer darauf senkrechten Ebene um ihre Gleichgewichtslage herum schwingen läßt. (Recht gut eignet sich zu diesen Schwingungsversuchen das eben besprochene Inclinatorium, weil sich bei demselben der Schwingungsebene der Nadel sehr leicht und genau die besagten beiden auf einander senkrechten Positionen geben lassen.) In der Ebene des magnetischen Meridians wird die Nadel durch die ganze erdmagnetische Kraft bewegt, in einer darauf senkrechten Ebene kann sie hingegen (wie der Anblick der früheren Figur 347, worin **ABCD** die Ebene des magnetischen Meridians n_1 r die Größe der gesammten erdmagnetischen Kraft **P** und **i** die magnetische Inclination

vorstellt, deutlich zeigt) nur von der vertikalen Componente rr_1 dieser Kraft afficirt werden. Da aus dem rechtwinkligen Dreiecke rr_1n_1 diese Componente $rr_1 = rn_1 \sin. i$ sich ergibt, und da nach Satz (2) auf S. 365 die Quadrate der Anzahl Schwingungen, welche eine und dieselbe Magnetnadel in gleichen Zeiten unter dem Einflusse verschiedener magnetischer Kräfte macht, den Intensitäten dieser Kräfte direkt proportional sind; so hat man, wenn N und n die Anzahl Schwingungen bedeutet, welche während einer bestimmten Zeit Z in der Ebene des magnetischen Meridians und dann in einer darauf senkrechten Ebene vollendet werden, $N^2 : n^2 = n_1 r : n_1 r \sin. i$, und hieraus die magnetische Inclination mittelst der Gleichung $\sin. i = \frac{n^2}{N^2}$. (120)

Wie sich die Intensitäten, welche die ganze erdmagnetische Kraft an verschiedenen Orten oder an einem und demselben Orte zu verschiedenen Zeiten besitzt, vergleichen (relativ messen) lassen, ist unter (117) S. 365 gezeigt worden. Man nimmt aber zu den betreffenden auf dieser Seite 365 besprochenen Schwingungsversuchen immer lieber eine Declinationsnadel, die an einem feinen ungedrehten Faden aufgehängt ist und anstatt der bei einer Inclinationsnadel an der Axe stattfindenden Reibung nur die viel geringere Torsion des Fadens zu überwinden hat, also weit empfindlicher (beweglicher) ist. Man erhält dann unmittelbar natürlich nur das Verhältniß der horizontalen Componenten der erdmagnetischen Kräfte, findet aber aus diesem mit Zuhilfenahme der bekannten magnetischen Inclination des Ortes nach Gleichung (116) S. 365 leicht das Verhältniß der gesammten erdmagnetischen Kräfte. Das von Gauß angegebene Bifilar-Magnetometer, in dessen nähere Betrachtung hier aber nicht eingegangen werden kann, dient zur Bestimmung der Veränderungen der horizontalen Componente der erdmagnetischen Kraft. Gauß hat auch gelehrt, die erdmagnetische Kraft auf ein absolutes Maß zurückzuführen. Wir können uns aber in die Auseinandersetzung der betreffenden äußerst scharfsinnigen Methode auch nicht einlassen, weil sie sich ohne höhere mechanische Kenntnisse nicht vollständig begreiflich machen läßt, und die Bestimmung des absoluten Maßes der erdmagnetischen Kraft auch außer dem Zwecke dieses Buches liegt.

184. Verschiedenheit und Aenderung der magnetischen Declination, Inclination und Intensität mit dem Orte und mit der Zeit. Hierüber lehren die bisherigen Untersuchungen Folgendes. Sowohl die magnetische Declination als auch die Inclination und die Intensität hat an verschiedenen Orten eine verschiedene Größe. Die Abweichung des Nordpols vom geographischen Meridiane ist überdies entweder eine westliche, wie in ganz Europa, oder eine östliche, wie im westlichen Asien, und an sehr vielen andern Orten ist sie Null. Man nennt eine Linie, welche auf der Erdoberfläche Orte von gleicher magnetischer Declination verbindet, eine isogonische Linie. Es gibt auf der Erde eine um diese herumgehende, in sich selbst zurückkehrende, aber nicht kreisförmige Linie, welche lauter Punkte mit einander verbindet, in denen die magnetische Neigung = o ist. Diese Linie heißt der magnetische Aequator der Erde, durchschneidet den astronomischen (irdischen) Aequator in zwei Punkten und entfernt sich von diesem im Maximum 11·5°. Nördlich vom magnetischen Erdäquator ist die Inclination eine nördliche (d. h. neigt sich der Nordpol der Nadel unter den Horizont) und südlich davon ist die Neigung eine südliche (neigt sich der Südpol unter den Horizont). Mit der Entfernung nach beiden Seiten hin wächst im Allgemeinen die Inclination, und es scheint auf der Erdoberfläche auch einzelne Punkte zu geben, an welchen die Inclination 90° beträgt, d. h. ein in seinem Schwerpunkte aufgehängter Magnetstab vertikal steht, mithin die horizontale Componente des Erdmagnetismus verschwindet. Eine Linie,

welche Orte gleicher Inclination mit einander verbindet, heißt eine isoclinische Linie. Die magnetische Intensität nimmt auf der Erde vom Aequator gegen die beiden Pole hin zu; allein die Linien, welche Orte, in denen die magnetische Intensität eine gleiche Größe hat, mit einander verbinden, und isodynamische Linien heißen, laufen weder dem astronomischen noch dem magnetischen Aequator der Erde parallel, sondern bilden Curven eigenthümlicher Art. Man hat eigene Karten, entweder der ganzen Erdoberfläche oder einzelner Theile derselben, worauf durch die verzeichneten isogonischen, isoclinischen und isodynamischen Linien die Gesetzmäßigkeit der Bestimmungsstücke (Declination, Inclination und Intensität) der erdmagnetischen Kraft anschaulich gemacht sind. Diese Bestimmungsstücke sind aber nicht beständig, sondern an jedem Orte fortwährend regelmäßigen und unregelmäßigen Veränderungen (Variationen) unterworfen. Die ersteren, denen ein Gesetz zu Grunde liegt, zerfallen wieder in sogenannte seculäre, d. i. solche, die erst nach einer langen Reihe von Jahren in die Augen fallen, aber im Laufe der Zeit sehr beträchtlich werden, und in periodische, welche nach den Jahres- und Tageszeiten wechseln. Die unregelmäßigen Variationen oder Störungen des Erdmagnetismus sind zum Theil örtlichen Ursachen, zum Theil aber auch Einflüssen zuzuschreiben, welche ihre Wirksamkeit über sehr ausgedehnte Theile der Erde erstrecken und wohin vorzüglich das Erscheinen eines Nordlichtes, dann Erdbeben und vulkanische Ausbrüche gehören. Was die seculären Variationen anbelangt, so war in ganz Europa die Abweichung des Nordpols der Magnetnadel vom astronomischen Meridiane im sechzehnten Jahrhunderte eine östliche; von da an näherte sich die Nadel immer mehr diesem Meridiane. Die Abweichung wurde endlich Null und ging sodann in eine westliche über, die bis zu einem Maximum zunahm, hierauf (etwa vor 30 Jahren) aber wieder abzunehmen anfing und noch gegenwärtig in dieser Abnahme begriffen ist, so daß man mit Grund erwarten kann, es werde an allen Orten Europas der magnetische Meridian mit dem geographischen wieder einmal zusammentreffen (wie dies 1663 in Paris geschah) und die magnetische Abweichung werde dann wieder eine östliche werden.

In Betreff seculärer Variationen der magnetischen Neigung weiß man nur so viel, daß diese gegenwärtig in Europa fortwährend abnimmt und gegen Ende dieses Jahrhunderts ihren kleinsten Werth erreichen dürfte.

Bezüglich periodischer Variationen der magnetischen Abweichung, von der man schon lange wußte, daß sie täglichen, ja stündlichen Aenderungen unterliege, führten vielseitige und auf das sorgfältigste angestellte Beobachtungen, insbesondere mit dem Gauß'schen Magnetometer, zu folgenden Gesetzen. Täglich bewegt sich der Nordpol einer hinreichend empfindlichen Magnetnadel ein oder mehrere Male von einem östlichsten Stande zu einem westlichsten, d. i. in unseren Gegenden, wo die Abweichung eine westliche ist, vom Minimum der Abweichung zum Maximum. Die Abweichung erreicht also täglich mehrere Male ein Minimum und ein Maximum. Die Maxima und Minima befolgen hinsichtlich der Zeit, wann sie Statt finden, und der Größe der dazwischen liegenden Oscillationen feste Normen. Im Sommer gibt es in der Regel nur ein Maximum und ein Minimum, und zwar stellt sich ersteres bald nach Mittag und letzteres zwischen 6 und 9 Uhr Morgens ein. Beide Wendepunkte rücken im Winter dem Mittag näher; in dieser Jahreszeit gibt es an einigen Orten auch noch ein zweites Maximum und Minimum, und zwar tritt dieses Maximum bald nach Mitternacht und das Minimum in den späten Abendstunden ein. Die Größe des Schwingungsbogens ändert sich mit der Jahreszeit und ist im Sommer viel größer als im Winter, erscheint auch größer an Orten von größerer geographischer Breite und in Binnenländern größer als auf Inseln. Nach Lamont hat die Größe der Declinations-Va-

riationen eine 10jährige Periode, so daß sie mit regelmäßigem Uebergange 5 Jahre im Zunehmen und 5 Jahre im Abnehmen begriffen ist.

Auch die Inclination ist periodischen Variationen unterworfen; allein sie sind bei weitem noch nicht mit der Genauigkeit beobachtet worden, wie jene der Abweichung. Nach den von Kreil in Prag angestellten stündlichen Beobachtungen der Inclination erlangt diese in der Regel täglich drei Maxima und eben so viele Minima. Das erste Maximum tritt im Sommer zwischen 8 und 9, im Winter zwischen 10 und 11 Uhr Vormittags ein, um Mittag findet das Minimum Statt. Das zweite Maximum tritt das ganze Jahr hindurch um 3 Uhr Nachmittag und das zweite Minimum in den späten Abendstunden ein; um oder nach Mitternacht ergibt sich das dritte Maximum, das in manchen Monaten die beiden andern übersteigt, und in den Morgenstunden erfolgt hierauf das dritte Minimum.

Ueber die periodischen Variationen der Intensität des Erdmagnetismus hat man nur für wenige Orte genaue Beobachtungen. Im Allgemeinen sind diese Variationen viel weniger regelmäßig als jene der Abweichung, und es ist ein tägliches Maximum außer allen Zweifel gestellt. Die Wendestunden liegen auch hier in den kürzeren Wintertagen näher am Mittag, als in den längeren Sommertagen.

Die eben aufgezählten jährlichen und täglichen Variationen stehen offenbar in einem innigen Zusammenhange mit der Sonnenwärme und werden vielleicht einzig und allein durch diese erzeugt. Zur Lösung der Frage: „Wie verursacht die Sonnenwärme diese Variationen?" wird die Elektrizitätslehre einige Materialien liefern. Hier soll vorläufig nur an die S. 359 besprochene Thatsache, daß Wärme den Magnetismus schwächt, und an die ungleiche Erwärmung erinnert werden, welche die Erde an den verschiedenen Orten zu den verschiedenen Jahres- und Tageszeiten durch die Sonne erfährt. Man wird dann z. B. leicht einsehen, daß, da des Morgens die Ostseite der Erde stärker erwärmt wird als die Westseite, bei Nacht die Wärmeveränderungen geringer sind, als bei Tage, im Winter und bei umwölktem Himmel geringer als im Sommer und bei heiterem Wetter, Vormittags die magnetische Anziehung von der Ostseite her vermindert, von der Westseite hingegen gesteigert werden, mithin der Nordpol der Nadel mehr nach Westen rücken, d. h. die westliche Declination immer zunehmen müsse; daß diese Declinationsvariationen im Sommer und an reinen Tagen größer seien als im Winter und bei umwölktem Himmel u. s. w.

185. Beseitigung des Einflusses naher Eisenmassen auf die Magnetnadel, insbesondere des Schiffscompasses. Der bedeutende Einfluß, welchen auf die Richtung und Bewegung einer Magnetnadel in der Nähe befindliches Eisen aus Gründen nehmen muß, die dem Vorhergehenden zu Folge für sich klar sind, macht es nothwendig, daß die in den letzteren Paragraphen besprochenen Beobachtungen zur Bestimmung der Richtung und Intensität des Erdmagnetismus in eigenen, eisenfreien und von Eisen (und andern magnetischen Körpern, also auch von, magnetische Wirkung äußernden Stein- und Gebirgsmassen) hinreichend weit entfernten Lokalitäten, sogenannten magnetischen Observatorien angestellt, und bei den Beobachtungen der Magnetnadel zur See, — welche nicht nur zunächst für die Orientirung der Schiffe nöthig sind, sondern auch das meiste Materiale zur Vervollständigung unserer für die Schifffahrt so höchst wichtigen Kenntnisse der magnetischen Abweichungslinien auf dem Erdballe liefern, — der Einfluß, den auf diese Beobachtungen das Eisen übt, welches in bedeutender Menge auf den Schiffen verschiedentlich vertheilt immer vorhanden ist, wohl berücksichtigt und compensirt werde. Dieses Compensiren kann durch ein Verfahren geschehen, welches der Hauptsache nach in Folgendem besteht. Man bestimmt, bevor das Schiff den Hafen verläßt, mittelst des Schiffscompasses die Declination außerhalb dem Schiffe (am Ufer oder einem andern von allem Eisen hinreichend weit entfern-

ten Orte), bringt dann den Compaß wieder an seinen Platz im Schiffe zurück und untersucht, indem man das Schiff in alle Richtungen des Horizontes dreht, bei welcher dieser Richtungen die Declination (die der Compaß jetzt zeigt) von der vorher (am Ufer u. s. w.) bestimmten am meisten verschieden ist. In einer auf diese Richtung des Schiffes senkrechten und durch die Mitte des Compasses gezogenen Linie (oder ihr wenigstens nahe) liegt dann irgendwo der Mittelpunkt der magnetischen Anziehung des Schiffseisens und es ist einleuchtend, daß, wenn man in der Verlängerung dieser Linie — in der Regel auf der Seite des Compasses, die der Spindel der senkrechten Ankerwinde (des Kabestans), da diese der Erfahrung gemäß gewöhnlich die größte und oft die alleinige Störung des Compasses verursacht, entgegengesetzt ist, — in entsprechender, durch Versuche zu ermittelnder Entfernung von diesem eine Eisenmasse anbringt, die Compaßnadel, unabhängig von der Drehung (also bei jeder Richtung) des Schiffes, die nämliche Declination wie außerhalb dem Schiffe zeigen werde, mithin der Einfluß des Schiffeisens compensirt sei.

Barlow, welcher zuerst solche Compensationen einführte, wählte als Compensateur eine vertikal stehende, runde Eisenscheibe von 12—14 Zoll Durchmesser und 1·7 Pariser Linien Dicke, die er am Compaßgestelle selbst anbrachte. Dieser Scheibe ist aber offenbar ein auf dem Verdeck des Schiffes vertikal aufgestellter Eisenstab vorzuziehen; denn 1. bildet die breite Platte nicht einen einzigen Anziehungspunkt wie dieses bei dem Centrum der störenden Eisenmassen wegen ihrer größeren Entfernung vom Compaß anzunehmen ist, sondern ihre Kraft ist auf eine gewisse Ausdehnung vertheilt und kann daher bei der großen Länge der Compaßnadel und der geringen Entfernung der Platte von dieser in ungleichem Maße auf die Nadel einwirken, und 2. ist es wahrscheinlich, daß die Platte nicht bei allen Neigungen ihrer Ebene gegen den Meridian gleich stark durch den Erdmagnetismus magnetisirt, sondern, im Meridian liegend, sicherlich wirksamer sei, als in gegen denselben senkrechter Lage.

186. Ueber den Ursprung des Erdmagnetismus sind vorzüglich von Euler, Tob. Mayer, Hansteen, Biot, Barlow und Ampere u. s. w. verschiedene, mitunter sehr complicirte Theorien aufgestellt worden. Alle diese Theorien, worunter jene von Barlow und Ampere, die den Erdmagnetismus als Erzeugniß elektrischer Ströme ansehen (und auf diese Theorien werden wir in der Elektrizitätslehre wieder zurückkommen), vielen Anklang fand, wurden in neuester Zeit von Gauß ganz in den Hintergrund gedrängt, indem dieser Gelehrte blos auf Grundlage der Voraussetzung, daß die magnetischen Stoffe in den Theilchen der Erde im geschiedenen Zustande vorhanden sind und daß die erdmagnetische Kraft die aus der Gesammtwirkung dieser magnetischen Elemente des Erdkörpers hervorgehende Resultirende (**177**) ist, aus den bereits gewonnenen Resultaten der Beobachtungen über die Bestimmungsstücke des Erdmagnetismus eine Theorie ableitete, nach deren Principien sich schon jetzt der magnetische Zustand der Erde für jeden ihrer Punkte mit befriedigender Annäherung an die Wahrheit vorherbestimmen läßt. Wenigstens liefern solche Vorherbestimmungen für alle Gegenden, für welche genaue Beobachtungen der Richtung und Intensität des Erdmagnetismus bereits vorhanden sind, Ergebnisse, die mit den Daten dieser Beobachtungen sehr nahe übereinkommen. Die fernere Ausbildung und Bestätigung dieser Theorie, in welche hier, ohne die gesteckten Grenzen dieses Buches und die Vorkenntnisse, die beim Gebrauche desselben vorausgesetzt werden können, zu überschreiten, nicht weiter eingegangen werden kann, muß von der mit der Zeit gewiß Statt findenden Ausdehnung sorgfältiger Beobachtungen der Bestimmungsstücke des Erdmagnetismus über immer größere Theile der Erdoberfläche erwartet werden.

II. Abschnitt.

Von der Elektrizität.

187. Wesen der Elektrizität. Alle Körper können unter gewissen Bedingungen in einen Zustand versetzt werden, der am allgemeinsten dadurch charakterisirt ist, daß die in demselben befindlichen Körper die Eigenschaft besitzen, beliebige andere, leichte oder wenigstens leicht bewegliche Stoffe schon aus einiger Entfernung an sich zu ziehen und nach erfolgter Berührung wieder abzustoßen. Man nennt sowohl diesen Zustand (der durch die besagte Abstoßung sich wesentlich von dem magnetischen Zustande unterscheidet), als auch die Körper, welche denselben angenommen haben, elektrisch [weil er zuerst am Bernsteine wahrgenommen wurde, dessen griechische Benennung ἤλεκτρον (elektron) ist]; diesen Zustand hervorrufen, heißt man elektrisiren, und den Inbegriff aller von dem elektrischen Zustande abhängigen Erscheinungen, so wie auch das Agens, welches als die letzte Ursache derselben betrachtet wird, bezeichnet man mit dem Worte Elektrizität *).

188. Weitere Eigenschaften und Erscheinungen an elektrischen Körpern. Die Körper zeigen, wenn sie im gehörigen Grade elektrisirt sind, außer der vorerwähnten Anziehung und Abstoßung auch noch andere Eigenschaften, die sich am einfachsten dadurch nachweisen lassen, daß man eine reine, trockene, 1—2″ dicke und einige Fuß lange Stange oder Röhre von Glas der Länge nach mittelst eines wollenen Lappens oder (am besten) mittelst eines mit sogenanntem Amalgam **) bestrichenen Lederfleckes reibt. Die geriebene Röhre oder Stange wird nämlich nicht nur auf einem Tische liegende Papierschnitzel, Sägespäne, Stückchen von Flittergold oder an Seidenfäden hängende Kügelchen aus Hollundermark oder Kork u. dgl. anziehen und gleich nachher wieder abstoßen, wenn man sie denselben nähert, sondern bei hinreichender Stärke der Reibung und Massivität der Stange oder Röhre zeigt diese im Finstern auch eine dem reibenden Lappen folgenden bläulichen Lichtschein, gibt, wenn man nach dem Reiben irgend einer geriebenen Stelle derselben den Finger nähert, an diesen einen hellen, knisternden Funken ab, verbreitet bei längere Zeit fortgesetztem Reiben einen eigenthümlichen, jenem des Phosphors ähnlichen Geruch ***) und verursacht, dem Gesichte genähert (durch Anziehung und Abstoßung der feinen Härchen auf der Haut) eine Empfindung als wäre man in ein Spinngewebe gerathen. Noch andere Eigenschaften und Erscheinungen, welche elektrische Körper darbieten, können erst später besprochen

---

*) Vorläufig soll hier nur angedeutet werden, daß man sich dieses Agens als eine unendlich feine, unwägbare, den elektrischen Körpern anhaftende Materie denkt.

**) Ein Gemisch aus Zinn, Zink und Quecksilber. Mehr darüber folgt bei der Beschreibung der Elektrisirmaschine.

***) Nach Schönbein kömmt dieser Geruch von einem eigenthümlichen, von ihm entdeckten und Ozon genannten, gasförmigen Stoff her, der durch das Ausströmen der Elektrizität in die Luft und zwar nach der neuesten Ansicht seines Entdeckers dadurch erzeugt wird, daß die Elektrizität den Sauerstoff der Luft aus einem in gewisser Beziehung minder thätigen in einen mehr thätigen Zustand versetzt (allotropisirt). In diesen allotropischen Zustand kann der Sauerstoff auch noch durch andere Mittel als Elektrizität umgewandelt werden und besitzt dann außer dem oben bezeichneten charakteristischen Geruch auch noch andere ihm sonst nicht zukommende Eigenschaften (z. B. die Eigenschaft Silber zu oxydiren, wie Chlor zu bleichen und Miasmen zu zerstören u. s. w.) im hervorragenden Grade, ist überhaupt ein in vielfacher Beziehung höchst merkwürdiger Stoff.

werden. Als Kennzeichen des elektrischen Zustandes eignet sich von den eben angeführten Erscheinungen jedoch am besten jene der Anziehung und Abstoßung, weil sie unter Anwendung passender Vorrichtungen, welche Elektroskope heißen, aber erst in einem folgenden Paragraphe beschrieben werden können, schon bei den schwächsten Graden der Elektrizität deutlich hervortritt.

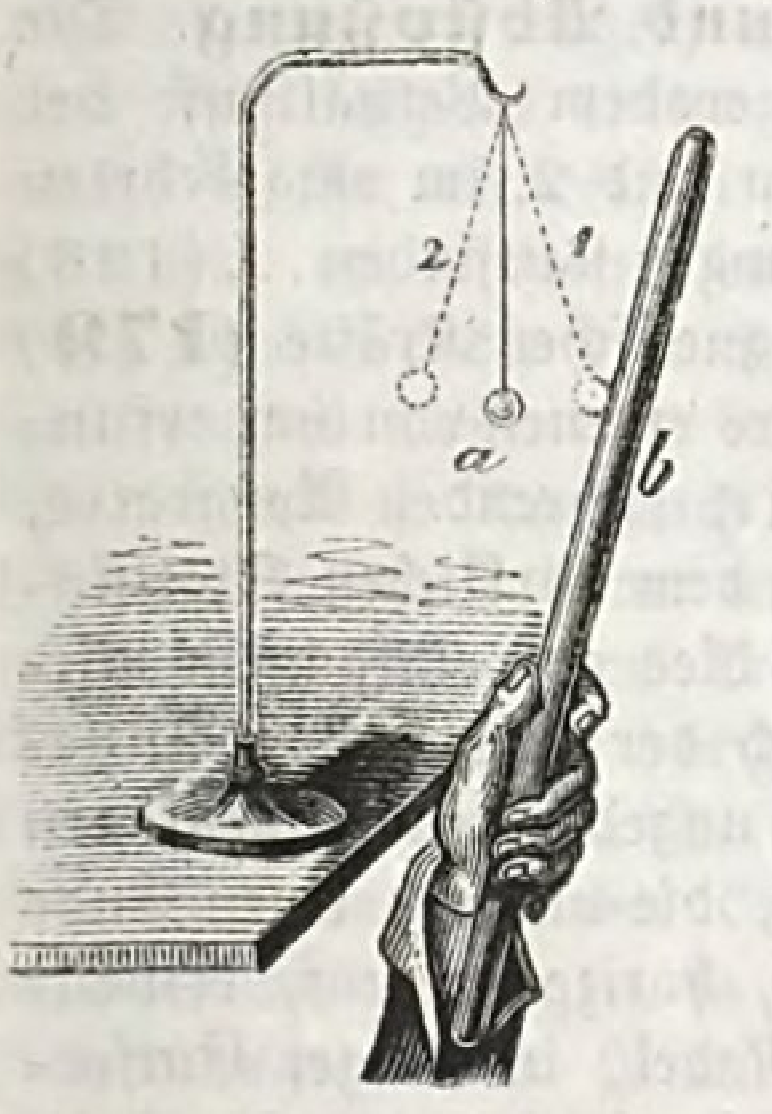
189. Mittheilung und Leitung der Elektrizität. Berührt man mit einem elektrisirten Körper einen andern noch im unelektrischen (natürlichen) Zustande befindlichen, so zeigt auch dieser nachher mehr oder weniger Elektrizität, und eben so viel Elektrizität als dieser jetzt besitzt, hat jener verloren. Man sagt daher, es sei von dem einen Körper dem andern Elektrizität mitgetheilt worden. Bei dieser Mittheilung verhalten sich aber die Körper in Bezug auf die Leichtigkeit, mit welcher sie die Elektrizität annehmen und abgeben, sehr verschieden. Manche, wie Glas, Harz, Seide 2c., nehmen von dem elektrischen Körper die Elektrizität nur an der Berührungsstelle an und halten sie daselbst mit Hartnäckigkeit fest; sie können die Elektrizität also durch ihre Masse nicht fortleiten und heißen deßwegen Nichtleiter oder Isolatoren. Bei andern Stoffen hingegen, wie bei den Metallen, geglühter Kohle, Theilen lebender Thier- oder Pflanzenkörper 2c., verbreitet sich die an dem Orte, wo sie mit dem elektrischen Körper berührt wurden, aufgenommene Elektrizität sogleich über ihre ganze Oberfläche und sie heißen darum Leiter der Elektrizität. Sie geben die Elektrizität auch sehr leicht her, und es kann ihnen dieselbe, selbst wenn die ableitende Ursache nur an einer einzigen Stelle auf sie einwirkt, mit Leichtigkeit vollständig entzogen werden, während ein Nichtleiter die Elektrizität nur an der Stelle abgibt, an welcher er mit einem andern Körper berührt wird. Hiernach erklärt sich, warum wohl Glas oder Harz, nicht aber Metall durch Reiben elektrisch gemacht werden kann, wenn man es unmittelbar in der Hand hält (diese entzieht nämlich die durch Reiben erzeugte Elektrizität dem Glase oder Harze nur an der Berührungsstelle, dem Metalle aber in seiner ganzen Ausdehnung). Man pflegt die Nichtleiter auch schlechte Leiter und die Leiter dann gute Leiter zu nennen. Zu ersteren gehören unter andern auch noch Gutta Percha, Wolle, Haare, atmosphärische Luft und andere Gase in trockenem Zustande und unter der Glühhitze, ganz trockenes Holz, Schwefel, Selen, fette Oele, und den letzteren sind auch noch zuzuzählen: Erze, Graphit, Wasser und viele andere flüssige Körper (Salzsäure, Salpetersäure), feuchtes oder unvollkommen getrocknetes Holz, Papier, Hollundermark, feuchtes Erdreich, feuchte Luft und Gase im glühenden Zustande, Flammen. In feuchter Luft gehen daher die oben angeführten und viele der weiterhin noch zu beschreibenden Versuche nicht wohl von Statten. Ein guter Leiter, der allerseits von schlechten Leitern umgeben ist, heißt isolirt und kann nur in diesem Zustande elektrisch sein. Uebrigens gibt es, wie die Erfahrung lehrt, rücksichtlich der Leitungsfähigkeit für Elektrizität in der Körperwelt unzählige Abstufungen, so daß sich zwischen Leitern und Nichtleitern keine Grenze ziehen, sondern vielmehr von den besten Leitern zu den vollkommensten Nichtleitern ein allmäliger Uebergang nachweisen läßt. Deswegen unterscheidet man oft auch sogenannte Halbleiter für Elektrizität und versteht darunter solche Stoffe, die, wie Marmor und Alabaster, dann Knochen, Horn und Leder, wenn sie längere Zeit mit feuchter Luft in Berührung gewesen, ein Verhalten zeigen, das zwischen jenem der Leiter und Nichtleiter gleichsam in der Mitte steht. Auch ist die Leitungsfähigkeit für Elektrizität von der Intensität dieser letzteren abhängig, und Körper, die für starke Elektrizitätsgrade sich als Leiter bewähren, sind für hinreichend schwache Aeußerungen der Elektrizität Isolatoren.

Wenn ein Elektrizität enthaltender Leiter mit einer Flamme versehen oder demselben eine Flamme nahe gebracht wird, so verliert er alsbald seine Elektrizität, weil, nach Rieß, von den Flammen unzählige Dampfspitzen nach allen Seiten in die Luft hinausragen, welche, wie

überhaupt alle Spitzen, die Elektrizität leicht ausströmen lassen und eben so leicht aufnehmen (was in einem folgenden Absatze näher besprochen werden wird). Die besagten Dampfspitzen entstehen aber, indem der dichte Dampfstrom, der von der Flamme fortwährend ausgeht und als zusammenhängende Schichte in die Luft sich erhebt, von der nach allen Seiten in ihm eindringenden Luft vielfach eingeschnitten und zerrissen wird, so daß von diesem Strome nur Fäden übrig bleiben, die sich bei ihrer Zerstreuung in der Luft immer mehr verdünnen. Ganz so wie die Flammen verhalten sich gegen elektrische Körper auch glimmende Körper, wie Feuerschwamm, Lunte, Rauchkerzchen u. s. w. und verdanken dieses Verhalten ebenfalls Spitzen, welche bei der Verbrennung an ihrer Oberfläche entstehen.

190. Verschiedenartigkeit der Elektrizität. Es gibt zweierlei elektrische Zustände, wie folgende Versuche darthun. Nähert man einem (3—4''' im Durchmesser haltenden) Hollundermarkkügelchen a (Fig. 355), das durch einen Seidenfaden, woran es hängt, isolirt ist und so ein sogenanntes Kugelelektroskop darstellt, eine mit einem Tuch- oder Lederlappen geriebene glatte Glasstange b, so wird es von dieser angezogen, sobald es aber mit dem Glase in Berührung gekommen ist (punktirte Stellung 1) von demselben sogleich wieder (in die Stellung 2) abgestoßen und flieht nun, wenn man ihm die Stange nähert, dieselbe fortwährend. Offenbar hat das Kügelchen bei Berührung der Glasstange von dieser Elektrizität aufgenommen und wird nur deßwegen abgestoßen, weil die in dasselbe übergegangene Elektrizität von der im Glase zurückgebliebenen abgestoßen wird, und die abgestoßene Elektrizität in Folge ihres Haftens an den Molekeln des Kügelchens (siehe Anmerkung *) S. 377) dieses mit fortnimmt. Wird hierauf dem Hollundermarkkügelchen, nachdem ihm vorher durch Berühren mit dem Finger alle Elektrizität genommen wurde, eine geriebene Harz- (z. B. Siegellack-) Stange genähert; so erfolgt, wie beim ersten Versuche, anfangs wieder Anziehung und nach Statt gehabter Berührung des Kügelchens mit dem Harze Abstoßung des ersteren. Wird hingegen dem Hollundermarkkügelchen, nachdem ihm vorher Elektrizität der geriebenen Glasstange mitgetheilt worden, eine geriebene Siegellackstange oder, nachdem es durch Berührung mit einer geriebenen Harzstange von dieser Elektrizität aufgenommen hat, die geriebene Glasstange dargeboten, so findet keine Abstoßung, sondern immer nur Anziehung des Kügelchens Statt. Diesen Versuchen zu Folge steht, wenn man der Kürze halber die durch Reiben des Glases erzeugte Elektrizität „Glaselektrizität" und die durch Reiben von Harz hervorgerufene Elektrizität „Harzelektrizität" heißt, der Satz fest: Glaselektrizität und Glaselektrizität, desgleichen Harzelektrizität und Harzelektrizität stoßen einander ab; Glaselektrizität und Harzelektrizität aber ziehen sich gegenseitig an; . . . . (121)

Fig. 355.



und dieser Satz beweiset evident, daß Glas- und Harzelektrizität von einander wesentlich verschieden, daß sie ungleichartig sind (indem die eine dort anzieht, wo die andere abstößt). Da nach dem Zeugnisse der Erfahrung jede Elektrizität, die bis jetzt in was immer für einem Körper und durch was immer für ein Verfahren erzeugt werden konnte, sich stets entweder wie Glas- oder wie Harzelektrizität verhält (ein mit Glas- oder Harzelektrizität versehenes Hollundermarkkügelchen abstößt), so gibt es nur zwei verschiedene Elektrizitäten. Aus (121) folgt, daß, wenn irgend ein elektrisirter Körper einen andern elektrischen abstößt, beide gleichartige (gleichnamige), hingegen, wenn sie sich anziehen, beide ungleichartige (ungleichnamige) Elektrizitäten besitzen. . . . . (122)

Es ergibt sich nun von selbst die Anwendung des Kugelelektroskopes zur Ermittlung, ob ein Körper elektrisch sei, und ob er Glas- oder Harzelektrizität besitze. Wird nämlich das im natürlichen Zustande befindliche Kügelchen von dem betreffenden Körper angezogen, so ist dieser jedenfalls elektrisch. Um auch über die Art der Elektrizität entscheiden zu können, muß dem Kügelchen vorher Glas- oder Harzelektrizität ertheilt und untersucht werden, ob es jetzt von dem zu prüfenden Körper Anziehung oder Abstoßung erfahre; im ersteren Falle ist dieser Körper mit dem Kügelchen ungleichartig, im letzteren gleichartig elektrisch (122). Die Glas- und die Harzelektrizität stehen mit einander in einem solchen Gegensatze, daß die eine die Wirkung der andern aufzuheben vermag. Zum Beweis dessen braucht man nur einem isolirten Leiter zuerst Elektrizität der einen und dann allmälig immer mehr Elektrizität der andern Art mitzutheilen. Es wird da nämlich der dem Leiter zuerst ertheilte (z. B. Glas-) elektrische Zustand fortwährend abnehmen, endlich ganz verschwinden, so daß der Leiter sich völlig unelektrisch zeigt, und nachher in den ungleichartigen (Harz-) elektrischen Zustand übergehen. Da sich demnach die beiden Elektrizitäten wie entgegengesetzte Größen verhalten, die sich nach Maßgabe ihrer Quantität aufheben; so nennt man, dem Gebrauche in der Mathematik gemäß, auch die eine Elektrizität die positive und die andere die negative und braucht für dieselben die Zeichen $+$ **E** und $-$ **E**. Zu Folge eines allgemeinen Uebereinkommens betrachtet man die Glaselektrizität immer als die positive.

191. Gesetz der elektrischen Anziehung und Abstoßung. Die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen stehen 1. in geradem Verhältnisse der Produkte der aufeinander einwirkenden Elektrizitätsmengen und 2. im umgekehrten Verhältnisse der Entfernungen, aus welchen diese Einwirkungen stattfinden ... (123)

Dieses Gesetz wurde, so wie das analoge für die magnetischen Kräfte (**179**) zuerst von Coulomb erwiesen und zwar sowohl mittelst eines eigenen von ihm erfundenen und seither den Namen Coulomb'sche Drehwage, führenden Apparates, als auch durch Schwingungsversuche. Will man sich von dem wirklichen Stattfinden des in Rede stehenden Gesetzes überzeugen, so kann dies am einfachsten mittelst der besagten Schwingungsversuche und zwar bezüglich der elektrischen Anziehungen auf folgende Weise geschehen. Man hängt an einem ungedrehten Seidenfaden (Coconfaden) eine Nadel (ein Stängelchen) aus Schellack, die an dem einen Ende eine Hollundermarkkugel (von 2—3''' Durchmesser) trägt, horizontal auf, ertheilt der Kugel eine bestimmte **E**, und stellt dann vor dieser Nadel, in einiger Entfernung von derselben, eine wohl isolirte zweite, mit der vorigen gleich große Hollundermarkkugel auf. Man macht diese letztere Kugel (im Vergleich mit der ersteren) entgegengesetzt elektrisch, und läßt nun die Nadel, welche durch die gegenseitige Anziehung beider Kugeln zum Schwingen gebracht wird, unter möglichstem Ausschlusse aller die Schwingungen störender Luftströmungen, schwingen. Natürlich muß dieses Schwingen, um den 1. Theil des obigen Gesetzes darzuthun, bei verschiedenen Mengen der **E** beider Kugeln aber immer bei dem nämlichen gegenseitigen Abstande dieser letzteren eingeleitet werden, . . . (I) und um sich vom 2. Theil des Gesetzes zu überzeugen, müssen die Schwingungsversuche bei constant bleibender **E** beider Kugeln aber bei verschiedenen Größen des besagten Abstandes vorgenommen werden . . . (II). Die Ursache der Schwingungen ist immer nur allein die elektrische Wirkung der beiden Kugeln aufeinander, und es muß offenbar für die dieser Wirkung zu Grunde liegenden elektrischen Kräfte, und zwar aus ähnlichen Gründen, wie in **178** bis **181** für die magnetischen Kräfte angeführt wurden, das Gesetz gelten, daß sie den Quadraten der durch sie in gewisser Zeit bewirkten Schwingungszahlen direkt proportional sind . . . . (124)

Bestimmt man nun diese Schwingungszahlen der Schellacknadel sowohl im Falle (I) als im Falle (II), so ergibt sich, daß diese Zahlen, also gemäß (124)

auch die elektrischen Anziehungskräfte im ersteren Falle direkt wie die Produkte der in Anwendung gebrachten Elektrizitätsmengen beider Hollundermarkkugeln und im zweiten Falle umgekehrt wie die Quadrate der gegenseitigen Entfernungen dieser Kugeln sich verhalten.

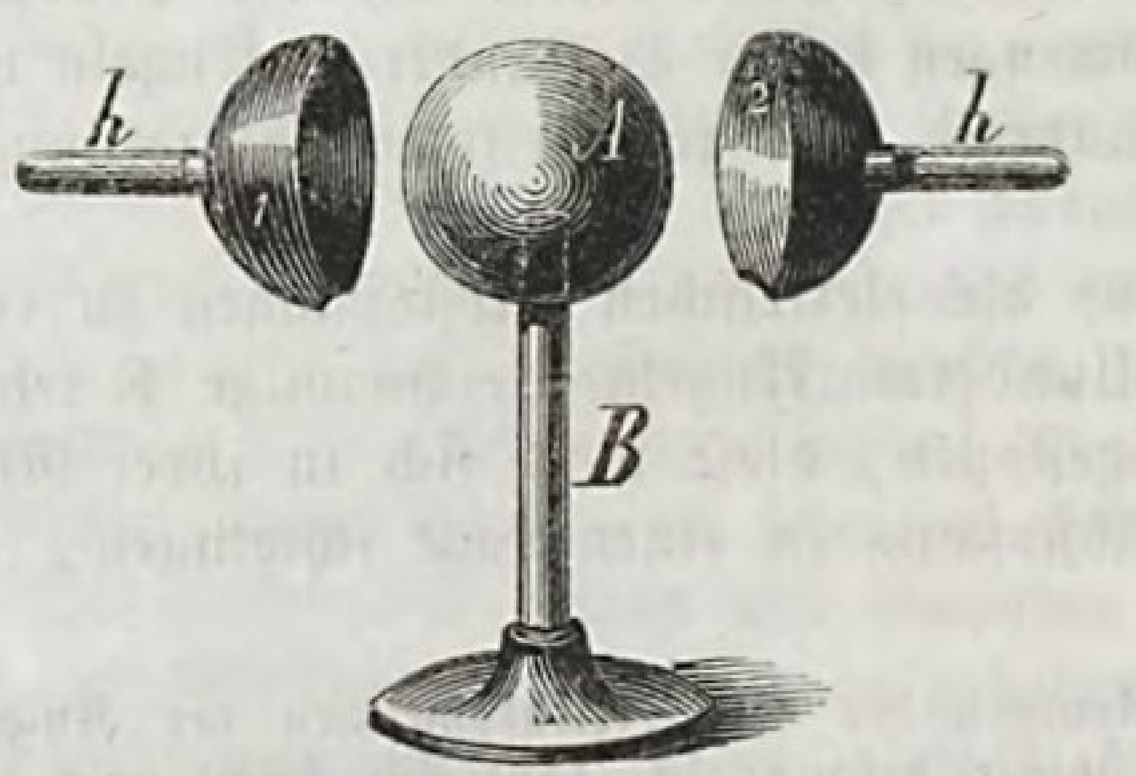
Um das Gesetz (123) in Bezug auf die elektrischen Abstoßungen zu constatiren, müssen natürlich die beiden Hollundermarkkugeln gleichnamige **E** erhalten; es wird dann die an der Nadel abgestoßen, diese wird sich in ihrer Richtung umkehren und dann vermöge der Abstoßung in einer Lage schwingen, die der vorigen diametral entgegengesetzt ist.

Das im Falle unter (1) erforderliche Aendern der Elektrizitätsmengen der Kugeln, so daß jedoch das Verhältniß dieser Mengen immer bekannt ist, läßt sich leicht nach dem für sich evidenten Satz bewerkstelligen, daß zwei Kugeln aus der nämlichen die E leitenden Substanz und von gleichem Durchmesser, wenn man sie mit einander in Berührung bringt, die E, welche sie besitzen, gleichmäßig unter einander theilen, so daß, wenn man die eine Kugel (A), welche E enthält, mit der andern im unelektrischen Zustande befindlichen berührt, die Menge E der ersteren auf die Hälfte, und diese Hälfte wieder auf die Hälfte, also die ursprüngliche E auf's Viertel reducirt wird, wenn nachher eine zweite Berührung der nämlichen Kugel (A) mit einer dritten ihr gleichen und unelektrischen vorgenommen wird.

192. Verlust der Elektrizität. Jeder elektrische Körper verliert, auch wenn er noch so sorgfältig isolirt ist, mit der Zeit seine **E**, indem er dieselbe theils an die ihn umgebende Luft und theils durch Vermittlung der andern Isolatoren, die ihn tragen, unterstützen o. dgl., an die Erde abgibt. Selbst ganz trockene Luft entzieht einem elektrischen Körper fortwährend **E**, weil ihre Theilchen dort, wo sie mit diesem Körper in unmittelbare Berührung kommen, von seiner **E** etwas aufnehmen, dann von ihm abgestoßen werden, andern Lufttheilchen Platz machen, die den Körper wieder **E** entziehen u. s. f. . . . (1). Der in der Luft immer mehr oder weniger vorhandene Wasserdunst wirkt in der nämlichen Art, überdieß aber auch noch als gewöhnlicher Leiter, bei welchem die **E** von jedem Theilchen zum angrenzenden von jeder Schichte zur nächsten fortgeführt wird. Die isolirenden Träger oder Stützen verursachen den Verlust theils durch ihre Substanz, theils durch dünne Schichten Luftfeuchtigkeit, womit sie sich vermöge ihrer hygroskopischen Beschaffenheit an der Oberfläche überziehen. Diesen letzteren Verlust kann man bei Glas und Seide durch einen Ueberzug von Schellack auf ein Minimum bringen, ja schwache elektrische Ladungen werden, nach Coulomb's Erfahrungen, eben so wie durch ein dünnes und mäßig langes Stängelchen aus Schellack auch durch mit dieser Substanz überzogene Glasstangen oder Seidenschnüre von 15—20 Zoll Länge fast vollkommen isolirt. Der Verlust durch die Luft nimmt, wie gleichfalls Coulomb lehrte, mit der Feuchtigkeit derselben zu, ist übrigens der Dichte der **E** des elektrischen Körpers proportional und von der materiellen Beschaffenheit des letzteren ganz unabhängig; an trockenen Tagen nehmen zu Folge dieses Verlustes die oben besprochenen elektrischen Kräfte in der Minute blos um $1/_{70}$ bis $1/_{60}$, an nur etwas feuchten aber um $1/_{20}$ ab. Daß bei den beschriebenen Schwingungsversuchen auf diesen Verlust gehörig Rücksicht zu nehmen ist, versteht sich von selbst.

193. Sitz und Anordnung der Elektrizität in Leitern. Ein mit **E** versehener, isolirter Leiter enthält die **E** nur an seiner Oberfläche und durchaus nicht in seinem Innern. Dieß ergibt sich daraus, daß man — wenn in trockener Luft eine auch sonst gut isolirte — (z. B. gemäß **192**, auf einem mit Schellack überzogenen, 15—20 Zoll langen Glasstab ruhende) messingene Kugel **A** (Fig. 356) in zwei halbkugelförmige, aus dünnem Messingblech bestehende Hüllen **1**, **2** eingeschlossen wird, die ebenfalls mit gut isolirenden Handgriffen h, h versehen sind, man dann der ganzen Metallmasse **E** mittheilt und hernach mittelst der Handgriffe die Hüllen entfernt, ohne damit die Kugel wieder zu berühren, — diese nun

Fig. 356.



ganz im natürlichen Zustande, die Hüllen hingegen elektrisch findet. Die zwischen den gleichnamigen elektrischen Theilchen stattfindende Abstoßung ist die Ursache, warum die freie **E** des Leiters sich so lange auszubreiten sucht, bis sie durch ein Hinderniß angehalten wird, und dieses findet sie erst an der Oberfläche des Leiters, indem sie daselbst an die Luft oder andere Isolatoren trifft. Es häuft sich so an der Oberfläche die **E** in einer Schichte von nur äußerst geringer Dicke an, die jene der feinsten Goldblättchen, welche die Goldschläger liefern, nicht übertreffen kann . . . (2), was folgender Versuch außer Zweifel setzt. Man elektrisire zwei gleich große vereinigte Hollundermarkkugeln, trenne sie hernach, berühre nun die eine (a) mit einer massiven metallenen Kugel, die andere (b) mit einer Kugel desselben Durchmessers, die durch Ueberkleben einer Schellackkugel mit den besagten feinsten Goldblättchen dargestellt wurde, und vergleiche, etwa durch Schwingungsversuche wie in **191** unter (1) die elektrischen Kräfte der Kugeln a, b, und man wird dieselben vollkommen gleich finden. Es sind also nach dem 1. Theil des Gesetzes (123) auch die in a und b zurückgebliebenen Elektrizitätsmengen gleich, und es hat somit die massive Metallkugel der Kugel a genau ebenso viel **E** entzogen, als die nur oberflächlich metallene (mit Goldblättchen überklebte Harz-) Kugel aus der Kugel b aufgenommen hat, zum Beweis, daß die Behauptung unter (2) richtig ist.

Nach Bourbouge zeigt eine elektrisirte und wohl isolirte hohle Metallkugel, wenn man durch ein Loch, womit sie versehen ist, eine Probescheibe einführt *), an der innern Oberfläche die nämliche **E** und in gleicher Menge wie an der äußeren, es breitet sich daher die **E** auf der einen wie auf der andern Oberfläche gleichmäßig aus (Compt. rend. 1853. 616).

Die auf der Oberfläche der Kugel vorhandene elektrische Schichte hat überall eine gleiche Dichte, d. h. gleiche Stücke dieser Oberfläche enthalten gleiche Mengen **E** . . . . (125)

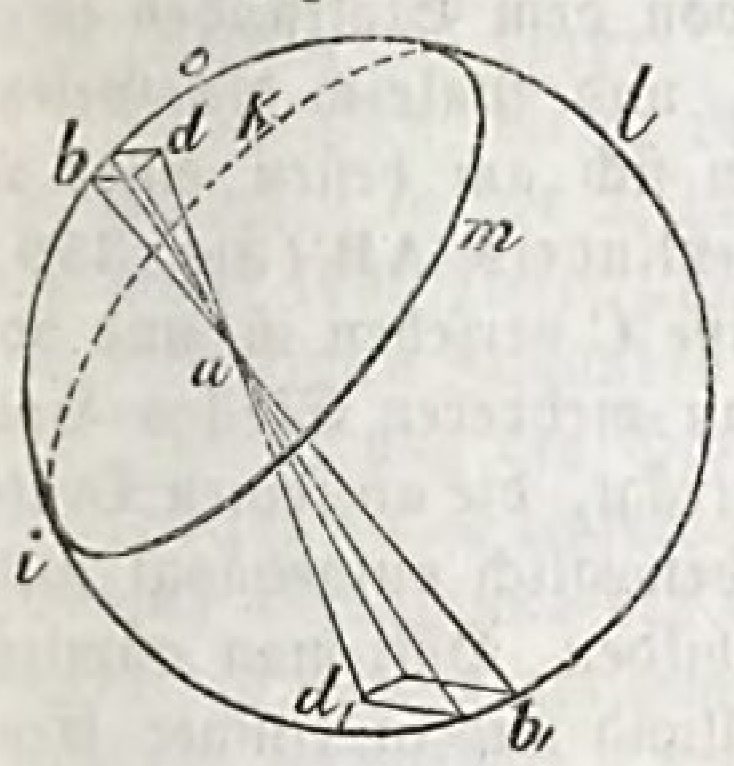
Man kann sich hievon durch die in der Anmerkung *) besprochenen Versuche mit dem Probescheibchen überzeugen, und es ist diese Gleichheit der Dichte die nothwendige Folge der Bedingungen des elektrischen Gleichgewichts in Leitern. Es muß nämlich an der Oberfläche jedes Leiters die **E** im Gleichgewichtszustande immer so angeordnet sein, daß ihre Gesammtwirkung auf jeden Punkt im Inneren des Leiters Null ist . . . (3); denn fände auch nur auf irgend einen inneren Punkt elektrische Einwirkung Statt, so müßte derselbe, wie uns aus folgenden Paragraphen klar werden wird, (durch Vertheilung) in den elektrischen Zustand versetzt, also im Leiter neue Elektrizität entwickelt werden, was gegen

---

*) Eine Probescheibe ist ein kleines Scheibchen aus Goldpapier, welches an dem einen Ende eines dünnen Schellackstängelchens festgemacht ist. Bringt man dieses Scheibchen an einer Stelle mit der Oberfläche eines elektrischen Leiters in Berührung, so bildet sein Goldüberzug nur einen Theil dieser Oberfläche und die E hat auf demselben genau die nämliche Dichte wie an der berührten Stelle des Leiters vor der Berührung. Nimmt man daher solche Berührungen an verschiedenen Stellen des Leiters vor und läßt nach jeder Berührung das Goldpapierscheibchen bei den in **191** besprochenen Schwingungsversuchen die Stelle der fixen Hollundermarkkugel vertreten, so erhält man das Verhältniß der elektrischen Dichten (der Elektrizitätsmengen gleicher Flächenstücke) an den mit dem Probescheibchen berührten Stellen des elektrischen Leiters.

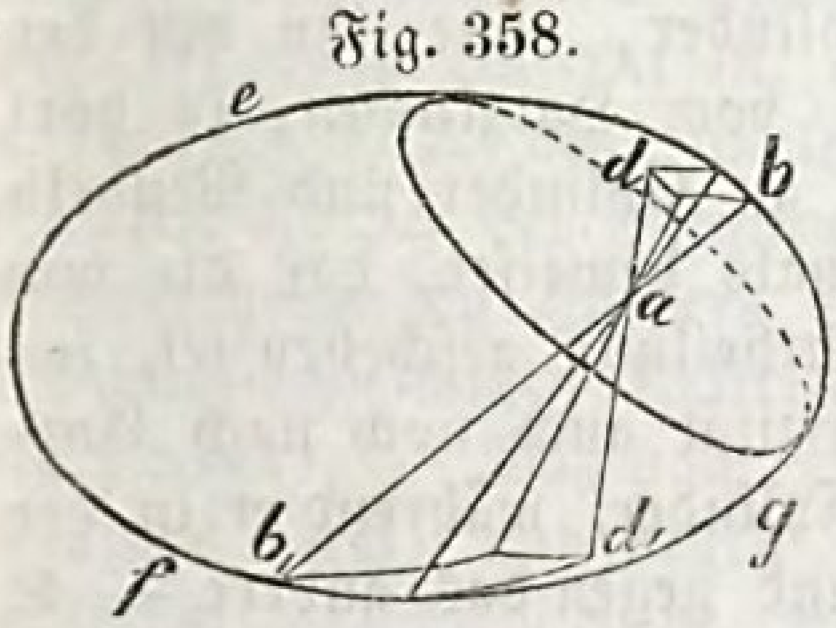
die Voraussetzung streitet, daß darin alle **E** im Gleichgewichte sich befindet. Ist nun a (Fig. 357) ein Punkt im Inneren einer Kugel und man legt durch diesen Punkt eine Ebene **ikm**, so muß gemäß (3) die Wirkung aller in der Oberfläche des Kugelsegmentes **I** (**iom**) enthaltenen **E** durch die entgegengesetzte Wirkung der in der Oberfläche des Kugelsegmentes **II** (ib_1lm) aufgehoben werden. Denkt man sich die erstere Oberfläche in lauter unendlich kleine Theile z. B. Quadratchen, wie **bd**, getheilt, durch die Punkte ihrer Peripherien und durch a gerade Linien gezogen und diese bis zur Oberfläche des zweiten Kugelsegmentes verlängert, so wird diese gerade in eben so viele Quadratchen b_1d_1 getheilt, als die Oberfläche **iom**, und es müssen daher auch die Wirkungen gleich sein, welche die in je zwei correspondirenden Quadratchen der Segmente **I** und **II**, z. B. in **bd** und b_1d_1 vorhandenen Elektrizitätsmengen **M**, M_1 auf den innern Punkt **a** üben. Gesetzt nun, die Abstände der Flächen **bd** und b_1d_1 von a verhielten sich wie 1 : 3, so muß, da die elektrischen Kräfte in dem Verhältnisse abnehmen, in welchem die Quadrate der Entfernungen wachsen (**191**), offenbar die Elektrizitätsmenge M_1 der Fläche b_1d_1 3^2mal, d. i. 9mal größer sein, als die Menge **M** der Fläche **bd**, damit sie die gleiche Wirkung auf a übt, wie **M**. Ferner verhalten sich die Flächen **bd** und b_1d_1 wie die Quadrate ihrer Abstände von a (nämlich als Grundflächen von Pyramiden wie die Quadrate der Höhen dieser letzteren), d. i. wie 1 : 3^2 oder 1 : 9. Es enthält demnach die 9mal größere Fläche b_1d_1 auch eine 9mal größere Elektrizitätsmenge und es kommen daher auf gleich große Flächenstücke der Kugeloberfläche auch gleich große Elektrizitätsmengen (125).

Fig. 357.



Hätte der elektrische Körper anstatt der Gestalt einer Kugel jene eines Ellipsoides, wie es durch Umdrehung einer Ellipse um die größere Axe entsteht und in Fig. 358 im Durchschnitte dargestellt ist; so wären die Flächen je zweier correspondirenden Quadratchen, wie **bd** und b_1d_1 nicht mehr den 2. Potenzen ihrer Entfernungen vom innern Punkte **a** proportional und es könnte daher die Dichte der **E** auf denselben nicht mehr gleich, sondern sie müßte offenbar auf dem kleineren Flächenstücke **bd** desto beträchtlicher sein, als auf dem größeren b_1d_1, je näher bei einem und demselben Ellipsoid diese Flächenstücke den Scheiteln der Axe liegen, oder bei gleichen Abständen der Flächenstücke von den besagten Scheiteln, je gestreckter (in die Länge gezogener) das Ellipsoid ist, so daß gegen die Enden eines sehr gestreckten Ellipsoids die Dichte der **E** in einem sehr rasch steigenden Verhältnisse wächst, und, wenn diese Enden zu Spitzen werden, so groß wird, daß sie, weil mit der Dichte in gleichem Verhältniß auch die Abstoßungskraft zwischen ihren Theilchen zunimmt, den Widerstand der Luft überwindet, und wie ein Strom in die letztere übergeht. Da jede Spitze überhaupt als ein Ende eines sehr gestreckten Ellipsoides betrachtet werden kann, so sieht man ein, daß durch Spitzen an elektrischen Körpern die **E** dieser letzteren sehr rasch verloren gehen müsse (wie dies die Erfahrung auch lehrt, und daß daher, wenn ein Körper die **E** längere Zeit behalten soll, an demselben alle Spitzen und diesen an Wirkung nahe kommende Ecke zu vermeiden sind.

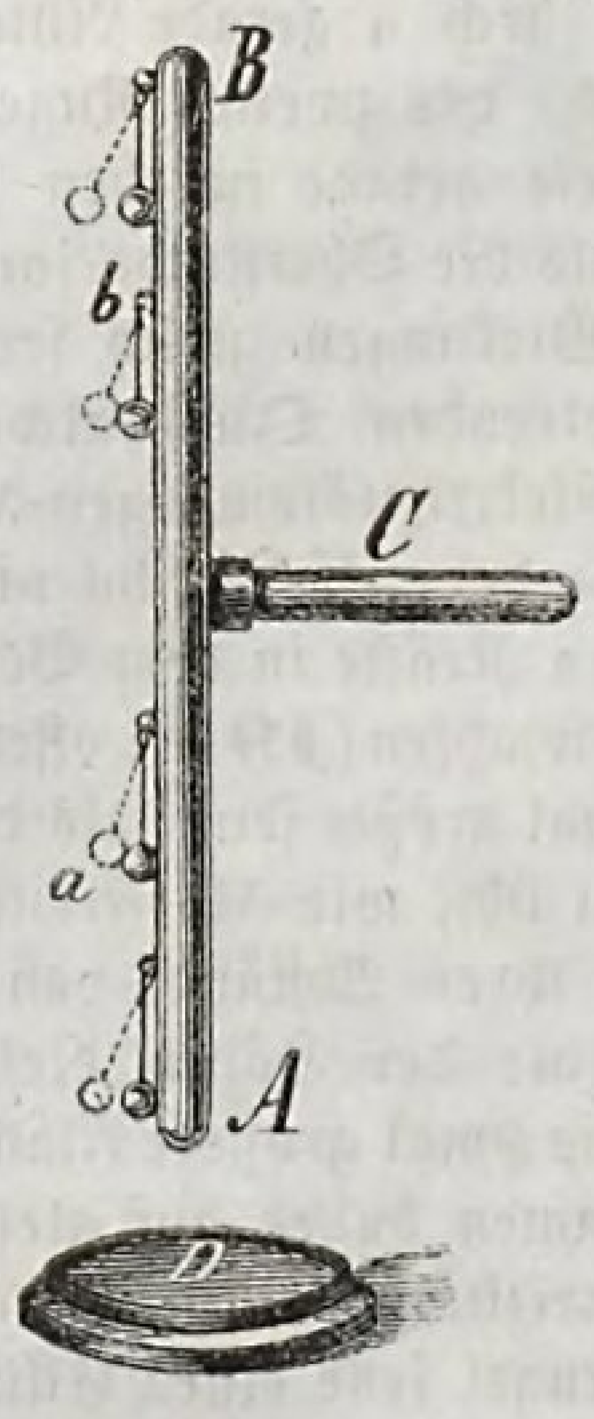
Fig. 358.



Die den Spitzen ebenfalls zukommende Eigenschaft, die **E** leicht aus andern Körpern aufzunehmen (sie andern Körpern schnell zu entziehen), steht mit der eben besprochenen fast entgegengesetzten Eigenschaft in vollkommenem Einklange, was wir aber erst später gehörig einsehen können . . . . (126)

194. Elektrisirung durch Vertheilung. Ein Körper kann schon dadurch elektrisch gemacht werden, daß man einen andern bereits elektrischen Körper in seine Nähe bringt, und diese Elektrisirung gelingt um so leichter, ein je besserer Elektrizitätsleiter der erstere Körper ist. Um sich von dem Stattfinden einer solchen Elektrisirung recht augenscheinlich zu überzeugen, und zugleich die Gesetze kennen zu lernen, nach welchen sie erfolgt, bedient man sich am besten eines an den Enden wohl abgerundeten, 1—1½" dicken Metallcylinders **AB** (Fig. 359), der mit einem gläsernen Handgriffe **C** versehen ist und von den Enden gegen die Mitte hin an mehreren Stellen Hollundermarkkügelchen a, a u. s. w. trägt, die an feinen Drähten in Oehren b, b u. s. w. frei beweglich aufgehängt sind, so daß sie lauter kleine Pendel bilden. Hält man nämlich diesen Cylinder in vertikaler Stellung und in einiger Entfernung über einen intensiv elektrischen Körper, z. B. über eine durch starkes Reiben mit einem Katzenfelle kräftig negativ elektrisirte Harztafel (Harzkuchen) **D**, so zeigen sich folgende Erscheinungen: 1. Die kleinen Pendel werden vom Cylinder (in die punktirten Lagen und desto stärker, je mehr sie gegen die Enden des Cylinders zu liegen) abgestoßen, zum Beweis, daß die Kügelchen und der Cylinder (an den ihnen anliegenden Stellen) gleichartig elektrisch geworden sind. 2. Nähert man den Pendeln eine durch Reiben positiv elektrisirte Glasstange, so stößt diese jedes Pendel in der untern Hälfte des Cylinders **A** ab und zieht jedes in der obern Hälfte an. Es besitzt somit der dem Harzkuchen zugekehrte Theil des Cylinders +**E** und der davon abgewendete —**E**. Der Cylinder ist daher von dem Harzkuchen nicht durch Mittheilung elektrisirt worden; denn sonst könnte er nur —**E**, wie der Harzkuchen selbst und nicht auch +**E** enthalten. 3. Entfernt man den Cylinder, ohne ihn mit der Hand oder einem andern Körper berührt zu haben, vom Harzkuchen, so hört die vorherbestandene Abstoßung wieder auf und es ist an Cylinder und Pendeln jede Spur von Elektrizität verschwunden; was abermals beweiset, daß die von dem Harzkuchen bewirkte Elektrisirung nicht durch Mittheilung geschehen sei, indem sonst der elektrische Körper die empfangene Elektrizität auch noch nach Entfernung ihrer Quelle enthalten müßte. 4. Wird der Cylinder, während er in der Nähe des Harzkuchens gegen das eine Ende hin +**E** und gegen das andere —**E** zeigt, irgendwo mit dem Finger berührt, so geht in diesen ein Funke über, und der Cylinder hat hiedurch seine —**E** verloren (denn er stößt nun das Pendel am obern Ende **B** und die in der Nähe befindlichen Pendel nicht mehr ab, ist also an diesen Stellen nicht mehr elektrisch, und keines der noch Abstoßung erfahrenden Pendel zeigt bei der Untersuchung —**E**); seine +**E** ist aber nicht nur nicht verloren gegangen, sondern vielmehr intensiver geworden (denn das Pendel, am Ende **A** und die andern Pendel, welche, wenn man sie so wie jenes vorher mit der geriebenen Glasstange prüft, sich ebenfalls positiv elektrisch zeigten, werden jetzt vom Cylinder auffallend stärker abgestoßen als früher). Wird der Cylinder hierauf weit genug vom Harzkuchen entfernt, so ist er an seiner ganzen Oberfläche positiv elektrisch und gibt an den Finger abermals einen Funken ab. 5. Die beschriebenen Erscheinungen an dem Cylinder lassen sich beliebig oft hervorbringen, ohne daß sie bei diesen Wiederholungen schwächer ausfallen, wenn nur der Harzkuchen immer in gleich starkem Grade elektrisch bleibt. 6. Der Harzkuchen verliert durch diese Versuche nichts an Elektrizität. 7. Wendet man anstatt des negativ elektrischen Harzkuchens einen mit kräftiger +**E** geladenen Körper, z. B. eine größere,

Fig. 359.



stark positiv elektrisch gemachte und durch einen gläsernen Fuß isolirte Metallkugel an; so findet man bei Wiederholung der angeführten Versuche Resultate, die sich von den aufgezählten nur dadurch unterscheiden, daß im Cylinder und in den Pendeln überall, wo vorher + E auftrat, jetzt — E erscheint und umgekehrt.

Aus allen diesen Resultaten ergeben sich nun nachstehende Folgerungen. Da der Cylinder in der Nähe des Harzkuchens zugleich + E und — E äußert, ohne daß dieser ihm Elektrizität mittheilt oder überhaupt eine Veränderung seines eigenen elektrischen Zustandes erleidet; so müssen die + E und — E im Cylinder schon vor Annäherung des Harzkuchens vorhanden gewesen und durch die Wirkung der Elektrizität dieses letzteren aus der Ferne her nur geweckt worden sein. — Da ferner nach Beseitigung des Harzkuchens die beiden entgegengesetzten Elektrizitäten des Cylinders wieder verschwinden und dieser in den völlig unelektrischen (natürlichen) Zustand zurückkehrt, bei abermaliger Annäherung des Harzkuchens aber sogleich wieder + E und — E zeigt; so erscheint der natürliche Zustand der Körper (denn ganz so wie der Cylinder **AB** verhalten sich dem Harzkuchen oder einem andern elektrischen Körper gegenüber auch alle Leiter der E) als das Resultat der Vereinigung entgegengesetzter Elektrizitäten, und die Elektrisirung, welche so wie vom Harzkuchen in dem Cylinder **AB**, von irgend einem elektrischen Körper in einem andern nicht elektrischen Stoffe aus der Ferne her bewirkt wird, besteht blos in der Trennung oder Vertheilung entgegengesetzter Elektrizitäten, die in diesem Stoffe vereinigt vorhanden sind und daher in ihrer Wirkung sich aufheben, weswegen die beschriebene Elektrisirung aus der Ferne her auch *Elektrisirung durch Vertheilung* heißt. — Der durch sie hervorgerufene Zustand ist ein durch Fernwirkung des elektrisirenden Körpers gleichsam erzwungener Zustand (denn er verschwindet mit Entfernung dieses Körpers wieder) und hat offenbar seinen Grund in der auch in die Ferne sich erstreckenden Abstoßung gleichnamiger und Anziehung ungleichnamiger Elektrizitäten, wie die Erscheinung beweist, daß der durch Vertheilung elektrisirte Körper an dem Ende (**B**), welches von dem vertheilend einwirkenden Körper (**D**) weiter entfernt ist, mit der Elektrizität dieses letzteren gleichnamige an dem andern Ende (**A**) aber ungleichnamige besitzt und daß dem durch Vertheilung elektrisirten Körper bei Berührung mit dem Finger nur allein die mit der Elektrizität des vertheilenden Körpers gleichnamige Elektrizität entzogen werden kann (indem die ungleichnamigen Elektrizitäten beider Körper durch ihre Anziehung sich gegenseitig binden). — Daß nach erfolgter Berührung des durch Vertheilung elektrisirten Körpers (**AB**) und dessen Entfernung aus der Nähe des elektrisirenden die in ersterem zurückgebliebene, mit der Elektrizität des letztern ungleichnamige Elektrizität die ganze Oberfläche des elektrisirten Körpers einnimmt, zeigt endlich, daß, so wie die positive und negative Elektrizität sich mit einander zu vereinigen streben, jede allein sich immer weiter auszubreiten sucht. — Ein elektrischer Körper kann nur auf eine gewisse Distanz um sich herum vertheilend wirken, und man nennt die Sphäre, innerhalb welcher er eine solche Wirkung in noch merklichem Grade hervorzubringen vermag, seine *elektrische Atmosphäre*.

Aus der Elektrisirung durch Vertheilung erklärt sich: 1. die Anziehung, welche ein elektrischer Körper gegen einen in seiner Nähe befindlichen unelektrischen ausübt, und welche offenbar daher kommt, daß die Elektrizität des ersteren in letzterem Körper durch Vertheilung + E und — E hervorruft, davon die ihr ungleichnamige Elektrizität, welche in dem zugekehrten, also näheren Theil des durch Vertheilung elektrisirten Körpers ihren Sitz nimmt, stärker anzieht, als sie die gleichnamige Elektrizität in dem entfernteren Theile abstößt (und die angezogene Elektrizität den Körper, an dessen Molekeln sie haftet, mit sich nimmt); 2. die Elektrisirung durch Mittheilung (der elektrische Körper bewirkt nämlich bei Annäherung an den durch Mittheilung zu elektrisirenden in diesem eine Vertheilung und indem bei nachheriger Berührung seine Elektrizität mit der durch Vertheilung hervorgerufenen ungleichnamigen sich vereinigt, bleibt an dem berührten Körper eine Elektrizität zurück, welche mit jener des ursprünglich elektrischen Körpers gleichnamig ist); 3. die Eigenschaft der Spitzen aus elektrischen Körpern

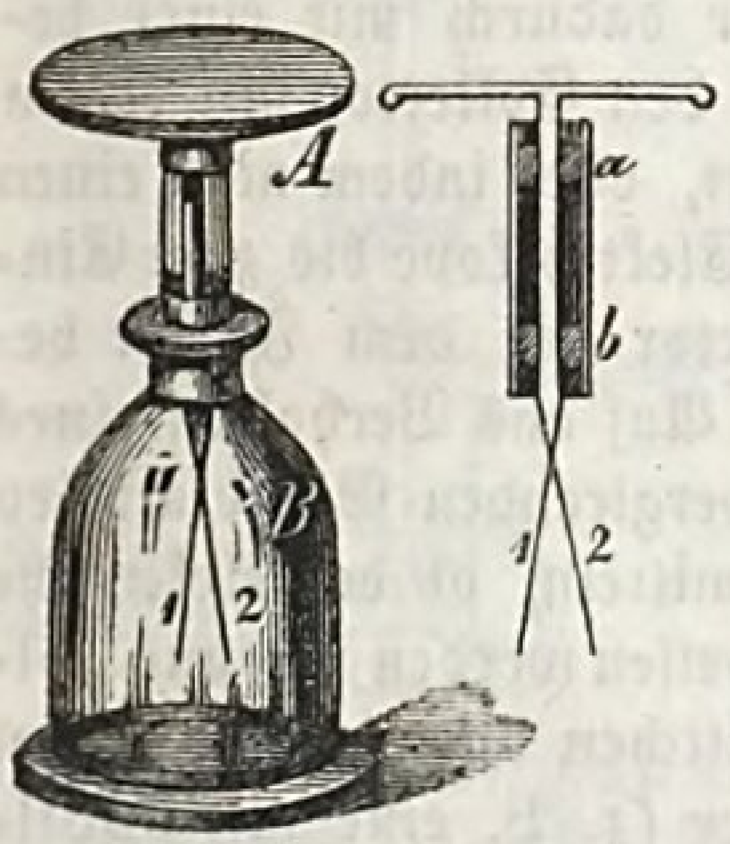
rasch und aus größerer Ferne her E aufzunehmen (man sehe (126) S. 383), welche Eigenschaft sicherlich ihren Grund darin hat, daß der elektrische (z. B. + E enthaltende Körper) A in dem mit Spitzen versehenen B durch Vertheilung + E und — E hervorruft, daß die — E des Körpers B durch die Spitzen rasch abfließt (126) und die + E des Körpers A neutralisirt, wo dann dieser unelektrisch und der Körper B, die in ihm hervorgerufene + E enthaltend, elektrisch erscheint, so als wenn A sein E an B abgegeben hätte; der sogenannte Rückschlag, eine Erscheinung, die aus der Wiedervereinigung der durch Vertheilung hervorgerufenen entgegengesetzten Elektrizitäten entspringt, aber des besseren Verständnisses wegen erst später weiter besprochen werden kann. Endlich liegt in der elektrischen Vertheilung und in dem Abfließen der E durch Spitzen der Grund jener interessanten Erscheinung, die mit dem Namen Wetterlicht, Sanct Elmsfeuer, St. Helenenfeuer, oder Eliasfeuer bezeichnet wird, und im Allgemeinen darin besteht, daß hervorragende, mehr weniger spitzige Gegenstände, insbesondere aber Metallspitzen, als: Masten der Schiffe, Thurmspitzen u. s. w. häufig einen Lichtpunkt, zuweilen auch einen (mit hörbarem Geräusch) ausströmenden Feuerbüschel zeigen. Offenbar ist dieser Feuerbüschel ausströmende E, die durch jene von Gewitterwolken oder überhaupt durch stärkere atmosphärische Elektrizität in dem betreffenden Gegenstande und zwar durch Vertheilung hervorgerufen wurde.

195. Wesen der Elektrizität. Der eigentliche, mit dem Namen Elektrizität bezeichnete Grund der elektrischen Zustände, in welche durch geeignete Behandlung alle Körper versetzt werden können, ist immer noch unbekannt. Unter den Hypothesen, die über denselben aufgestellt worden, hat sich vorzüglich die von dem Engländer Robert Symmer herrührende sogenannte dualistische Hypothese geltend gemacht. Sie betrachtet als Ursache des positiven und negativen elektrischen Zustandes zwei außerordentlich feine, unwägbare Materien (die positive und negative Elektrizität), von welchen angenommen wird, daß sie in allen Körpern und in jedem noch so kleinen Theile derselben vorhanden seien und sich darin mit größerer oder geringerer Leichtigkeit bewegen können, daß jede derselben aus gleichartigen Theilchen bestehe, die sich gegenseitig abstoßen, daß aber die Theilchen der einen Materie auf die ihnen ungleichartigen Theilchen der andern anziehend wirken, und daß die Abstoßung sowohl als die Anziehung sich in die Ferne erstrecke. Befinden sich in einem Körper die Theilchen der einen Materie gleichförmig gemengt mit Theilchen der andern, so werden die zwischen den gleichartigen Theilchen Statt findenden Abstoßungskräfte durch die Anziehungskräfte, womit die ungleichartigen Theilchen auf einander wirken, aufgehoben, beide Materien binden sich gegenseitig und befinden sich in einem Gleichgewichtszustande, in welchem sie für die Sinne ganz unwahrnehmbar sind, so daß der betreffende Körper völlig unelektrisch (von natürlicher Beschaffenheit) erscheint. Ist aber in einem Körper dieses Gleichgewicht gestört, d. h. enthält derselbe an irgend einer Stelle mehrere Theilchen der einen als der andern Materie, so befindet sich dieser Ueberschuß im ungebundenen (freien) Zustande, äußert in Folge der zwischen seinen Theilchen vorhandenen Abstoßung auf die nicht leitende Umgebung, welche die Theilchen dieser Abstoßung Folge zu leisten und sich zu bewegen hindert, einen Druck und tritt dadurch, so wie durch freie Uebung von Abstoßung oder Anziehung gegen die Theilchen anderer gleichartiger oder ungleichartiger elektrischer Materie in das Bereich sinnlicher Wahrnehmung; der Körper erscheint daher an der betreffenden Stelle elektrisch und zwar positiv oder negativ, je nachdem daselbst die positive oder negative Materie in dem besagten Ueberschusse vorhanden ist. Der erwähnte Druck, welchen die in der Bewegung gehinderten, ungebundenen elektrischen Materien üben, und welcher dem Quadrate der Dichte der freien E proportional ist, macht das aus, was man elektrische Spannung nennt. — Nach der dualistischen Hypothese besteht also das Elektrisiren der Körper in der Aufhebung der gleichförmigen Mengung und des aus dieser Mengung entspringenden Gleichgewichtszustandes der zwei ungleichartigen elektrischen Materien; insbesondere geschieht beim Elektrisiren durch Vertheilung diese Aufhebung, indem die in einem Körper frei vorhandene positive oder negative Elektrizität in jedem andern Körper

die Theilchen der mit ihr gleichartigen elektrischen Materie zurückdrängt und die Theilchen der ungleichartigen an sich zieht, vorausgesetzt, daß der Körper den elektrischen Materien in seinem Innern Bewegung gestattet (ein Elektrizitätsleiter ist). Die Anziehung ungleichnamig und die Abstoßung gleichnamig elektrischer Körper folgt aus der vorausgesetzten gegenseitigen Anziehung der Theilchen ungleichartiger und Abstoßung der Theilchen gleichartiger elektrischer Materien, und es bedarf zur Erklärung dieser Erscheinung nicht der Annahme, daß die Elektrizitäten an den Körpern durch Anziehung zu deren Materie haften; denn ist eine oder die andere Elektrizität einen Körper zu verlassen durch denselben von allen Seiten umgebende schlechte Leiter gehindert, so kann sie offenbar schon deswegen einer von Außen her Statt findenden Anziehung oder Abstoßung nicht folgen, ohne die Materie des Körpers mitzubewegen.

196. Einrichtung und Gebrauch der Elektroskope und Elektrometer. Schon aus dem Vorhergehenden ist bekannt, daß man Elektroskope diejenigen Vorrichtungen nennt, mittelst welchen sich entscheiden läßt, ob ein Körper Elektrizität enthalte und ob diese positiv oder negativ sei. Auch haben wir bereits den Gebrauch des Kugelelektroskops kennen gelernt; dieses ist aber nur dann anwendbar, wenn es sich um stärkere Elektrizität handelt, welche Kraft genug hat, die Masse des Kügelchens in merkliche Bewegung zu versetzen. Ein weit empfindlicheres und zur Untersuchung des elektrischen Zustandes meist hinreichendes Instrument ist das Bennet'sche oder Goldblatt-Elektroskop (Fig. 360). Es besteht aus zwei gleich

Fig. 360.



(2—3″) langen, schmalen (1—2‴ breiten) Streifen **1**, **2** aus feinstem Blattgolde, die an dem untern (in eine horizontale Schneide ausgehenden) Ende eines glatten Messingdrahtes durch Festkleben an beiden Seiten der Schneide so aufgehängt sind, daß sie im unelektrischen Zustande ihrer ganzen Länge nach sich decken. Der Messingdraht geht durch den Obertheil eines gläsernen, allseitig geschlossenen (cylindrischen, flaschenartigen oder kugelförmigen) Gefäßes **B**, welches die Blättchen gegen den störenden Luftzug schützt, endigt oben in eine polirte Kugel oder in eine polirte, an den Rändern wohl abgerundete Platte, Collector genannt, aus dem nämlichen Metalle, und ist zum Behufe vollkommener Isolirung mittelst zweier Stöpseln **a**, **b** von Kork, Seide oder Kautschuk in einer Glasröhre festgemacht, welche, da das Glas für sich nicht hinlänglich isolirt, inwendig dick gefirnißt und äußerlich so weit mit einem Schellacküberzuge versehen ist, daß dieser aus der Metallfassung des Halses von **B**, in welche die Röhre eingekittet ist, beiderseits wenigstens 1″ hervorragt. Sehr gut ist es, wenn man die Luft im Gefäße stets trocken erhält, was leicht durch etwas Chlorcalcium geschehen kann, das man in eine Vertiefung des dann gewöhnlich aus Holz bestehenden Fußes dieses Gefäßes oder in eine in diesem Fuße vorhandene und dicht schließende Schieblade bringt, die mit dem innern Raume des Gefäßes durch einige, in dessen Boden angebrachte kleinere Bohrungen in Communication steht. Die Anwendung dieses Instrumentes beruht bei Untersuchung schwacher Elektrizitätsgrade auf der Mittheilung und bei Prüfung stärkerer Elektrizitäten auf der elektrischen Vertheilung. Berührt man nämlich mit einem schwach elektrischen Körper den Collector, so wird diesem, somit auch dem Drahte und den Goldblättchen Elektrizität mitgetheilt, diese stoßen sich als gleichnamig elektrisch ab und weichen deshalb unter einem Winkel auseinander, welcher um so größer ausfällt, je stärker die den Goldblättchen mitgetheilte Elektrizität ist, und den man mittelst eines unter den Goldblättchen und in der Vertikalebene, in welcher diese Blättchen beim Divergiren sich bewegen, angebrachten Gradbogens messen kann . . . (†). Einen stärker

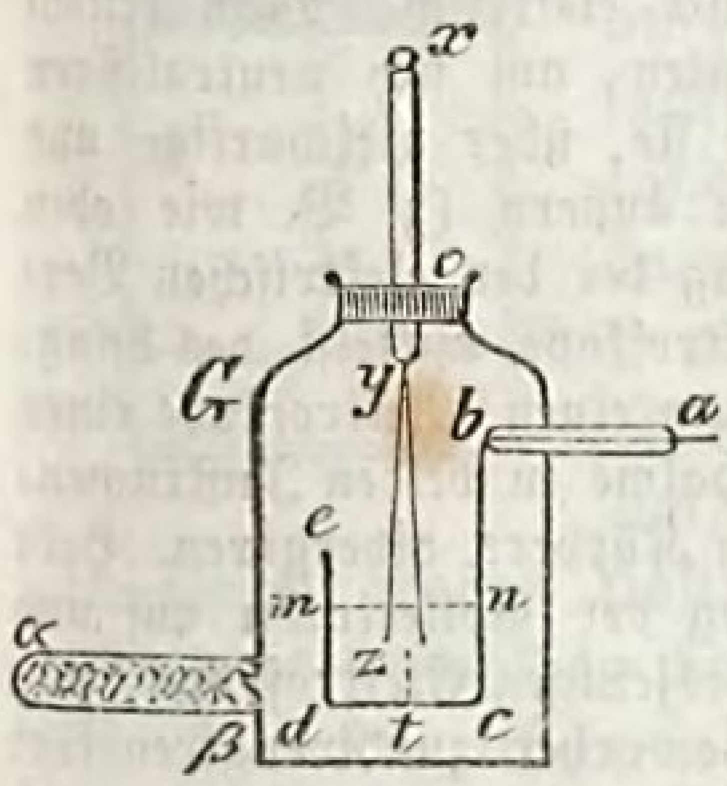
elektrischen Körper braucht man nur in die Nähe des Collectors zu bringen und die Goldblättchen werden schon auseinander fahren. Es geht in diesem Falle eine Vertheilung des natürlichen Zustandes des Collectors, des Drahtes und der Goldblättchen vor sich; die mit der Elektrizität des zu prüfenden Körpers ungleichnamige wird angezogen und begibt sich in die diesem Körper näheren Parthien der besagten Leiter; die gleichnamige Elektrizität hingegen wird in die entfernteren Goldblättchen getrieben und macht diese divergiren.

Das Divergiren der Goldblättchen, wenn ein Körper dem Elektroskope genähert oder damit in Berührung gebracht wird, beweist also, daß dieser Körper elektrisch sei. Fand Berührung Statt, so fahren die Goldblättchen auch nach Entfernung des elektrischen Körpers (mit der durch Mittheilung empfangenen Elektrizität) zu divergiren fort. Wurde hingegen der elektrische Körper dem Elektroskope nur genähert, so verschwindet mit Entfernung dieses Körpers sogleich alle Divergenz der Blättchen, indem diese, der Draht und der Collector zu Folge Wiedervereinigung der in denselben durch Vertheilung getrennten Elektrizitäten in den natürlichen Zustand zurückkehren. Wird aber vor Entfernung des angenäherten elektrischen Körpers der Collector mit dem Finger berührt und dadurch die mit der Elektrizität dieses Körpers gleichnamige freie **E**, welche die Blättchen divergiren machte, abgeleitet; so hört das Divergiren auf, stellt sich jedoch augenblicklich wieder ein, sobald man den elektrischen Körper entfernt. Die Goldblättchen divergiren aber jetzt mit der, der **E** dieses Körpers ungleichnamigen **E**, welche nach dessen Entfernung in den Leitern des Elektroskops ungebunden und frei zurückbleibt. Man kann demnach die Blättchen eines Goldblatt-Elektroskops entweder dadurch mit einer bestimmten **E**, z. B. mit + **E** divergiren machen, daß man den Collector mit einem gleichnamig elektrischen (+ **E** enthaltenden) Körper berührt, oder indem man einen mit ungleichnamiger **E** (mit — **E**) geladenen Körper dem Elektroskope bis zum Eintritt der Divergenz der Blättchen nähert, nun den Collector mit dem Finger berührt und hernach den elektrischen Körper wieder entfernt. Auf das Verhalten eines elektrischen Körpers gegen die mit einer bestimmten **E** divergirenden Goldblättchen gründen sich aber einfache Verfahrungsweisen, um zu ermitteln, ob der elektrische Körper + **E** oder — **E** enthalte, und diese Verfahrungsweisen werden sich aus folgender Betrachtung von selbst ergeben. Divergiren die Blättchen mit + **E** und man nähert dem Collector einen ebenfalls + elektrischen Körper (z. B. eine mit Wollzeug oder Leder geriebene Glasröhre), so nimmt die Divergenz zu, weil zu der in den Blättchen bereits vorhandenen + **E** noch diejenige gleichnamige **E** hinzukömmt, welche die Glasröhre durch Zersetzung eines der Stärke ihrer Elektrizität entsprechenden Theils des in dem Elektroskops-Leitern enthaltenen Vorrathes neutralisirter (durch gegenseitige Bindung den natürlichen Zustand constituirender entgegengesetzter) Elektrizitäten hervorruft. Nähert man oder dem Elektroskope allmälig einen negativ elektrischen Körper (z. B. eine mit Wollzeug oder Pelzwerk geriebene Siegellackstange), so wird bei der durch diese Stange im Collector bewirkten Vertheilung in die Goldblättchen durch Abstoßung — **E** getrieben und diese wird, da ihr Betrag bei weiterer Annäherung der Stange fortwährend zunimmt, die den Blättchen ursprünglich ertheilte + **E** immer mehr, endlich vollständig neutralisiren und nachher in den auf diese Art in den natürlichen (unelektrischen) Zustand versetzten Blättchen frei auftreten; die Blättchen werden somit (beim allmäligen Annähern der — **E** enthaltenden Harzstange) anfangs immer stärker, endlich ganz zusammenfallen, hierauf aber wieder auseinander gehen. Die nämliche Erscheinung muß bei Entfernung der Siegellackstange Statt finden, weil dabei die durch diese Stange in den Blättchen hervorgerufene — **E** allmälig wieder verschwindet und die Blättchen daher zuerst aus den negativ elektrischen in den natürlichen und nachher allmälig in ihren ursprünglichen positiv elektrischen Zustand übergehen. Macht man die Goldblättchen von

allem Anfange mit — E divergiren, so tritt natürlich die vorbesagte Vermehrung der Divergenz . . . (I) bei Annäherung einer Siegellackstange, hingegen die anfängliche Verminderung, die darauffolgende Aufhebung und das endliche Wiedererscheinen der Divergenz... (II) bei Annäherung der geriebenen Glasstange, also die unter (I) angeführte Erscheinung ein, wenn Goldblättchen und angenäherter Körper gleichnamig, hingegen findet die unter (II) angegebene Erscheinung Statt, wenn sie ungleichnamig elektrisch sind. Demnach kann man die Beschaffenheit der Elektrizität eines Körpers dadurch kennen lernen, daß man entweder durch Berührung des Elektroskopes mit diesem Körper, oder falls er stark genug elektrisch ist, durch bloße Annäherung desselben an den Collector und nachheriges Berühren dieses letzteren mit dem Finger den Goldblättchen E ertheilt, (welche im ersteren Falle gleichnamig und im letzteren ungleichnamig mit jener des zu untersuchenden Körpers ist) und dann auf die oben angegebene Weise aus dem Verhalten der Blättchen gegen eine angenäherte, durch Reiben elektrisirte Glasröhre oder Siegellackstange die Beschaffenheit der E der Blättchen erforscht, oder auch indem man mittelst der besagten Glasröhre, Siegellackstange oder dgl. die Goldblättchen vorläufig mit einer bestimmten E divergiren macht, hernach den zu untersuchenden Körper dem Collector nähert und die dabei Statt findende Veränderung in der Divergenz der Goldblättchen beobachtet . . . . (127)

Folgende von Andriessen herrührende Einrichtung des Goldblatt-Elektroskopes gewährt diesem ein erhohen Grad von Empfindlichkeit. Ein glatter Messingdraht abcde (Fig. 361) von $1/2$ bis $3/4'''$ Durchmesser geht in der Bewegungsebene der Goldblättchen, etwa in der Höhe ihres Befestigungspunktes am Drahte xy, gut isolirt seitwärts durch das Glas G und reicht in aus der Figur ersichtlichen Weise an beiden Seiten der Blättchen hinauf. Die an dem Boden des Glases luftdicht eingekittete Röhre $\alpha\beta$ ist mit Chlorcalcium gefüllt, welches, wenn das Instrument auch sonst dicht verschlossen ist, die Luft darin stets vollkommen trocken erhält. Theilt man nun dem Drahte abcde z. B. — E etwa eines isolirt auf Tuch geriebenen glatten Korkscheibchens mit, so divergiren die Goldblättchen zu Folge Vertheilung mit entgegengesetzter E (+ E) und aus gleichem Grunde befindet sich am Knopfe x des Elektroskopes mit jener des Drahtes abcde gleichnamige E (— E). Leitet man diese ab, so divergiren dann die Blättchen natürlich etwas stärker. Der ganze Draht xy und die Blättchen zeigen nun freie, jener des Drahtes abcde entgegengesetzte E (+ E). Bringt man nun den zu untersuchenden Körper dem Knopfe x in die Nähe, oder (wenn dies nicht hinreichen sollte) mit demselben in Berührung, so wird offenbar die Divergenz der Blättchen zu- oder abnehmen, je nachdem der besagte Körper die mit ihrer E gleichnamige oder entgegengesetzte E hat. Die große Empfindlichkeit des Instrumentes ist nach Andriessen hauptsächlich darin zu suchen, daß die E des Drahtes abcde durch ihre Wirkung auf die entgegengesetzte E der Blättchen die Schwere dieser letzteren größtentheils aufhebt. Sie sind 2″ lang, höchstens 1‴ breit und der Abstand mn beträgt $1^1/_4$″.

Fig. 361.



Außer dem Goldblatt-Elektroskope und dem früher (S. 379) beschriebenen Kugel-Elektroscope kommen noch am häufigsten vor: das Volta'sche oder Strohhalm- und das Henley'sche oder Quadranten-Elektroskop. Ersteres unterscheidet sich von dem Goldblatt-Elektroskope nur dadurch, daß es anstatt der Goldblättchen am untern Ende des vom Collector herabgehenden Drahtes zwei dünne Strohhalme hat, die mittelst Ringelchen von sehr feinem Drahte (auf in Fig. 362 anschaulich gemachte Weise) möglichst leicht beweglich aufgehängt sind; es gewährt im Vergleich mit dem Goldblatt-Elektroskop den Vortheil, daß sich daran, der Steifheit der Strohhalme wegen, die unter (†) S. 387 erwähnte Messung genauer bewerkstelligen läßt, steht aber dem Goldblatt-Elektroskop an Empfindlichkeit weit nach.

Das Quadraten-Elektroskop, welches sich nur zur Schätzung kräftiger Elektrizitätszustände, wie sie sich mittelst der später zu beschreibenden Elektrisirmaschine erzeugen lassen, geeignet ist, besteht (Fig. 363) gewöhnlich aus einem dünnen Holzstängelchen ab, das an dem einen Ende a eine kleine Korkkugel trägt, am andern Ende b aber im Mittelpunkte eines getheilten Halbkreises so befestigt ist, daß es an der diesen letzteren tragenden Holzsäule mn — wenn sich die ganze Vorrichtung im unelektrischen Zustande befindet — vertikal und der Säule parallel herabhängt, im Falle, daß diese aber E empfängt, von derselben in einer dem Halb-

Fig. 362.

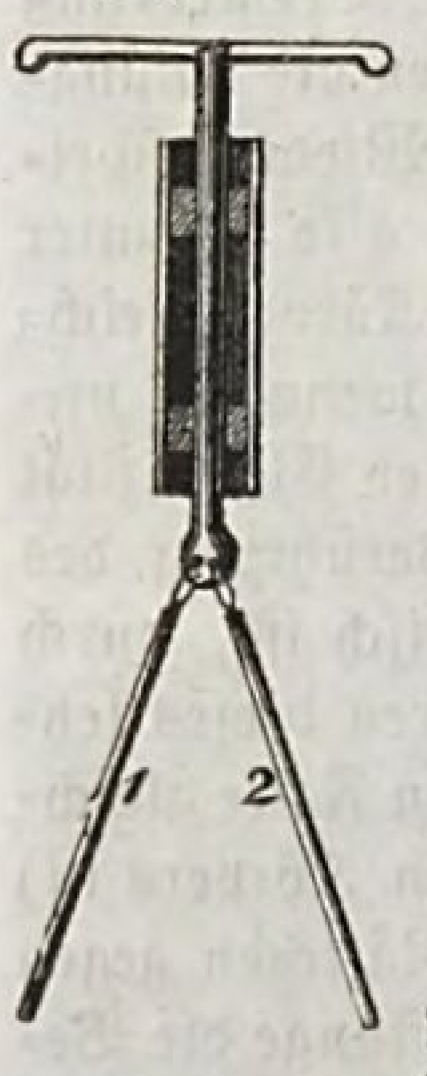
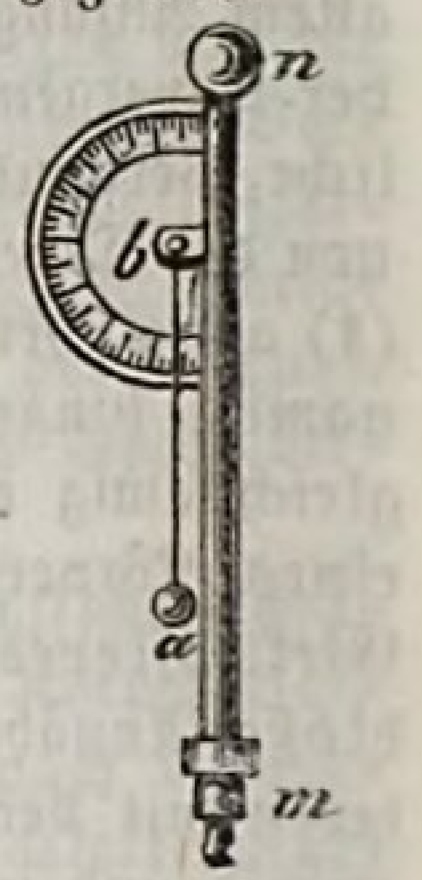


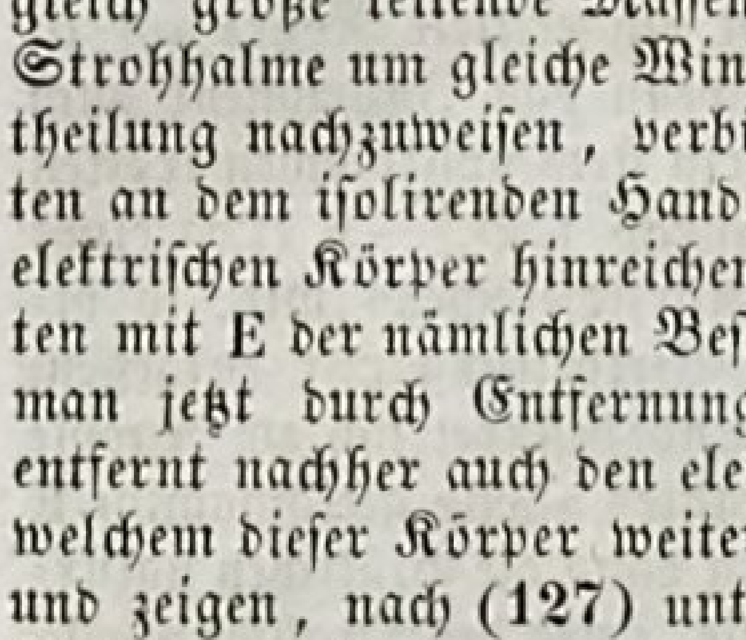
Fig. 363.



kreise parallelen Ebene abgestoßen wird, man daher den Abstoßungswinkel messen und nach dessen Größe die Stärke der E schätzen kann.

Mittelst eines Goldblatt- oder Strohhalm-Elektroskopes läßt sich auch die Eigenschaft ungleichnamiger Elektrizitäten, sich gegenseitig zu binden und zu neutralisiren, so wie der **194** beschriebene Hergang bei der Elektrisirung durch Vertheilung recht augenfällig darthun. . (1) Zu ersterem Behufe nehme man zwei Strohhalm-Elektroskope (weil sie Empfindlichkeit genug besitzen und an Goldblatt-Elektroskopen die feinen Blättchen leicht verletzt werden könnten) von ganz gleicher Einrichtung und Größe, theile dem Collector des einen mittelst geriebenen Harzes so lange — E und dem Collector des andern abgesondert mittelst geriebenen Glases + E mit, bis die Strohhalm-Paare in beiden Instrumenten (also das eine Paar mit — E und das andere mit + E) um einen gleichen nach (†) S. 387 an dem Gradbogen gemessenen Winkel divergiren. Verbindet man dann beide Collectoren mittelst eines dicken, an einem vollständig isolirenden Handgriffe gehaltenen Drahtes, so fallen augenblicklich die Strohhalme an beiden Elektroskopen zusammen, zum Beweis, daß die vorher wirksam gewesenen Elektrizitäten durch Vereinigung unwirksam gemacht (neutralisirt) worden sind. Wurden aber die Halme in dem einen Elektroskop, z. B. mit der — E bis zu einer größeren Divergenz geladen, als in dem andern mit der + E, so bleibt nach Verbindung der beiden Instrumente mittelst des Drahtes ein Ueberschuß von — E zurück, welcher sich in beiden Elektroskopen verbreitet und sich durch eine gleiche, aber im Verhältniß zur früheren geringere Divergenz der zwei Strohhalmpaare kund gibt. Theilt man endlich beiden Instrumenten nur + E oder nur — E mit, so bleiben sie nach Verbindung mittelst des Drahtes wie vorher elektrisch. Man ersieht aus diesen Ergebnissen zugleich, daß die entgegengesetzten Elektrizitäten, um sich neutralisiren zu können, in dem Verhältnisse vorhanden sein müssen, in welchem sie, über gleichartige und gleich große leitende Massen verbreitet, gleich starke Spannungen äußern (z. B. wie oben Strohhalme um gleiche Winkel divergiren machen). Um den Hergang bei der elektrischen Vertheilung nachzuweisen, verbinde man die Collectoren der zwei Elektroskope mittelst des besagten an dem isolirenden Handgriffe gehaltenen Drahtes und bringe dem einen Elektroskope einen elektrischen Körper hinreichend nahe, so wird man finden, daß die Halme in beiden Instrumenten mit E der nämlichen Beschaffenheit, wie jene des angenäherten Körpers divergiren. Hebt man jetzt durch Entfernung des Drahtes die leitende Verbindung der Collectoren auf und entfernt nachher auch den elektrischen Körper; so fahren die Halme desjenigen Elektroskops, von welchem dieser Körper weiter entfernt war, in gleichem Grade wie vorher zu divergiren fort und zeigen, nach (127) untersucht, die mit der E des Körpers gleichnamige (von diesem durch Vertheilung hervorgerufene und durch Abstoßung zurückgedrängte) Elektrizität; in dem andern Elektroskope hingegen fallen die Halme zusammen, gehen aber sogleich wieder auseinander und erweisen sich dann mit dem besagten Körper ungleichnamig elektrisch. (Bei Entfernung dieses Körpers wird nämlich die von demselben nach bewirkter Vertheilung angezogene, seiner eigenen entgegengesetzte E frei, ein Theil derselben neutralisirt die mit dieser ungleichnamige E, womit die Strohhalme des letztgedachten Elektroskops früher divergirten und der Ueberschuß treibt nachher die Halme wieder auseinander.) Um elektrische Anziehungs- und Abstoßungsversuche einem größeren Auditorium, überhaupt auf größere Entfernungen gut wahrnehmbar zu machen, aus welchen her die Goldblättchen, die Strohhalme, oder die an Seidenfäden aufgehängten Hollundermarkkügelchen, welche wir wegen ihrer großen Beweglichkeit als zu solchen Versuchen vorzüglich geeignet kennen gelernt haben, nur schwer sichtbar sind, bediene man sich anstatt dieser elektroskopischen Körper nach C. W i n t e r in Wien, — der überhaupt noch mehrere andere, zum Experimentiren mit Reibungselektrizität recht bequeme und instruktive Vorrichtungen erdachte und verfertigt, insbesondere aber nach eigenen Ideen und Erfahrungen verbesserte Elektrisirmaschinen liefert, die ausgezeichnet wirken und gleich nachher näher besprochen werden sollen, — mit bestem Erfolge hohler, 3 und mehrere Zolle großer und an Seidenfäden hängender Kugeln, Ellipsoide oder oben und unten abgerundeter Cylinder aus netzartig durchschnittenem feinsten englischen Seidenpapier oder aus feinstem Goldpapier, wie man sie in Fig. 364 bei 1, 2 und 3 abgebildet sieht. Diese Figur stellt zugleich einen Apparat vor, woran sich mittelst der eben

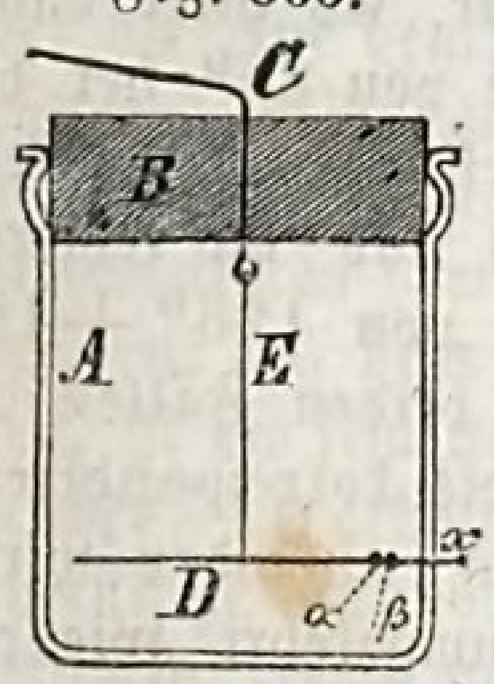
Fig. 364.



besagten Winter'schen Elektroskope die oben unter (1) angeführte Neutralisirung entgegengesetzter Elektrizitäten, und der Hergang bei der Elektrisirung durch Vertheilung einem sehr großen Auditorium vollkommen ersichtlich darstellen lassen; man experimentirt nämlich ganz so, wie es vorher bei Anwendung von zwei Strohhalm-Elektroskopen zu demselben Zwecke beschrieben wurde, indem jeder der von gläsernen Stangen getragenen, aus Messingblech bestehenden Conductoren A, B die Stelle des Collectors und das Papiercylinderpaar 1, 2 daran die Stelle des Strohhalmpaares der Strohhalm-Elektroskope vertritt.

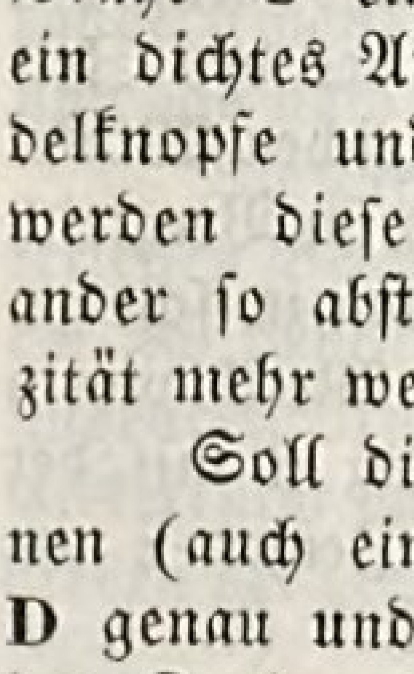
Ein sehr empfindliches Elektroskop (Elektrizitätsanzeiger), welches, da es auch die quantitative Vergleichung selbst ganz kleiner elektrischer Spannungen und Dichtigkeiten gestattet, zugleich ein sehr empfindliches Elektrometer (Elektrizitätsmesser) darstellt, ist die schon auf S. 380 erwähnte Coulomb'sche Drehwage. Bei derselben wird ein an einem feinen Drahte oder Faden aufgehängter sehr beweglicher horizontaler Hebel durch einen ihm zur Seite feststehenden Arm, nachdem beide Elektrizität erhalten haben, zu Folge gegenseitiger Einwirkung dieser Elektrizitäten in horizontaler Ebene so lange gedreht, bis die mit dem Drehungswinkel im gleichen Verhältniß wachsende Torsionskraft des Drahtes oder Fadens mit der besagten gegenseitigen Einwirkung ins Gleichgewicht getreten ist, und man erhält eine solche als Elektroskop dienende Coulomb'sche Wage äußerst empfindlicher Art am leichtesten durch die von Dellmann herrührende Einrichtung der Fig. 365. **A** ist ein weißes Einsudglas von 8—10″ Höhe und 4—6″ Weite; **B** ist ein das Glas verschließender Korkpfropf; **C** ein ziemlich steifer Draht, der unten ein Häkchen zum Anhängen eines Coconsfadens **E** hat, welcher am untern Ende ein sehr dünnes Schellackstängelchen (einen Schellackfaden) **D** horizontal trägt, an dessen einem Ende ein Hollundermarkkügelchen α von der Größe eines dicken Stecknadelknopfes angeklebt ist. Das Glas **A** ist bei **x** durchbohrt und in dem Loche ist mit Schellack eine Stecknadel befestigt, die ihren Knopf außerhalb des Glases und einige Linien davon entfernt hat, und an ihrer ins Glas hinein gehenden Spitze ein dem vorigen gleich großes Hollundermarkkügelchen β so angesteckt enthält, daß die Spitze nicht aus demselben hervorragt. Durch Verschiebung des Drahtes **C** im Korke **B** sind die Kügelchen α und β in gleiche Höhe gebracht und dadurch, daß der Draht **C** ein oder ein Paar Mal um seine Axe gedreht wurde, hat man für ein dichtes Anliegen des Kügelchens α an β gesorgt. Theilt man nun dem Nadelknopfe und also auch den Hollundermarkkügelchen α, β Elektrizität mit, so werden diese, wenn die mitgetheilte Elektrizität auch äußerst schwach ist, einander so abstoßen, daß der Hebel **D** um den Faden **E**, je nachdem die Elektrizität mehr weniger stark ist, um einen größeren oder kleineren Winkel gedreht wird.

Fig. 365.



Soll die Coulomb'sche Wage auch zu quantitativen Bestimmungen sich eignen (auch ein Elektrometer sein), so muß sich der Drehungswinkel des Hebels **D** genau und bis auf kleine Größen messen lassen, daher das Glas **A** eine in der Drehungsebene von **D** ringsherumgehende Gradeintheilung, einen größeren Durchmesser und der Hebel **D** eine bedeutendere Länge haben; ferner muß, wenn man den Faden **E** um sich selbst dreht, der jedesmalige Drehungswinkel gemessen werden können. Die in Figur 366 anschaulich gemachte Einrichtung, im Wesentlichen dieselbe, die schon Coulomb seiner Wage gegeben hat, erfüllt die eben geforderten Bedingungen; in den Fig. 365 und 366 sind die nämlichen Theile auch mit gleichen Buchstaben bezeichnet. **N** ist eine Glasröhre, in deren messingenem Deckel sich ein vertikaler Zapfen dreht, in dessen unterem Ende ein äußerst feiner Metall- (Silber-) Draht **e** festgemacht ist und dessen Drehung

Fig. 366.



mittelst eines auf einer Kreistheilung des Deckels spielenden Zeigers z gemessen werden kann. Die Stelle der Stecknadel der vorigen Figur ist hier durch ein vertikales Schellackstängelchen vertreten, welches am untern Ende das mit α gleiche Hollundermarkkügelchen β trägt und mittelst eines Pfropfes im Loche x sich so fest stecken läßt, daß beide Hollundermarkkügelchen (α, β) in demselben Niveau sich befinden. Das Gewichtchen m dient zum Anspannen des Drahtes e; ab ist die Kreistheilung zum Messen der Drehungswinkel des Hebels **D**, und übrigens ist die ganze Anordnung so, daß wenn durch entsprechende Drehung des Drahtes e die Kügelchen α, β gerade zu leiser Berührung gebracht sind, der Berührungspunkt am Nullpunkte der Kreistheilung ab sich befindet.

Um den Gebrauch dieses Instrumentes als Elektrometer begreiflich zu machen, soll hier beispielsweise nachträglich gezeigt werden, wie mittelst desselben Coulomb das Gesetz (123) in **191** nachgewiesen hat.

Er theilte der Kugel β ganz schwache Elektrizität mit und brachte sie dann mit der Kugel α auf oben angegebene Weise in Berührung; es erfolgte Abstoßung und der Hebel **D**, nach einigen Oscillationen zur Ruhe gekommen, hatte eine Drehung von 36° aus seiner ursprünglichen Lage heraus erfahren. Nun drehte er den Draht nach der dieser Abstoßung entgegengesetzten Richtung, so daß der Hebel **D** der fixen Kugel α bis auf 18° genähert wurde, wozu eine Drehung des Zeigers z am Zapfen um 126° erforderlich war. Es hielt daher die elektrische Abstoßung im ersteren Falle aus einem Abstande von 36° her der Kraft, womit der um 36° gedrehte Draht in seine vorige Stellung zurückzukehren suchte (d. i. kurz ausgedrückt, der Torsionskraft von 36°) und im letzteren Falle aus einem Abstande von 18° her, einer Torsionskraft von 126° + 18° d. i. 144° das Gleichgewicht; es verhielten sich demnach in beiden Fällen die elektrischen Abstoßungskräfte wie 36 : 144 oder wie 1 : 4 und die korrespondirenden Entfernungen, aus welchen die Elektrizitäten abstoßend auf einander wirkten, wie 36 : 18 oder 2 : 1, mithin diese Abstoßungskräfte umgekehrt wie die Quadrate der besagten Entfernungen, also so wie es das oben citirte Gesetz (123) in seinem zweiten Theile ausspricht.

Für die elektrischen Anziehungen wurde dieser zweite Theil des Gesetzes ganz auf ähnliche Weise gefunden, nur erhielten beide Kugeln α und β ungleichartige Elektrizitäten. Es wurde nämlich zuerst die bewegliche Kugel α elektrisirt, dann durch entsprechendes Drehen des Drahtes e mittelst des den Zeiger z führenden Zapfens um einen Winkel m der Hebel **D** um den gleichen Winkel (m) aus seiner ursprünglichen Lage abgelenkt und nun die fixe Kugel β im Vergleich mit α ungleichartig elektrisch gemacht. Es fand jetzt zu Folge Anziehung zwischen α und β eine Verminderung des Ablenkungswinkels m z. B. auf den Werth von n statt und es war somit die elektrische Anziehung aus der Entfernung n mit der Torsionskraft von m ins Gleichgewicht getreten. Jetzt wurde der Zeiger z um einen gewissen Winkel μ weiter vor- oder rückwärts z. B. vorwärts (d. i. in demselben Sinne wie vorher) gedreht, wornach sich der Hebel **D** um den Winkel ν von der Kugel β mehr als früher abstehend zeigte und daher die elektrische Anziehung aus der Entfernung ν mit der Torsionskraft von $m + \nu$ im Gleichgewichte stand. Bei Vergleichung der Größen m und $m + \mu$ der Torsionskräfte und somit auch der mit ihnen ins Gleichgewicht getretenen Anziehungskräfte in beiden Fällen mit den Entfernungen n und $n + \nu$, auf welche die Anziehungen erfolgten, ergab sich die Proportion $m : m + \mu = (n + \nu)^2 : n^2$ d. i. der zweite Theil des Gesetzes (123) für die elektrische Anziehung. Die Auseinandersetzung, wie der erste Theil desselben Gesetzes dargethan wurde, kann nun, als für sich einleuchtend, gewiß füglich übergangen werden, und eben so wird nach dem Vorhergehenden Jedermann von selbst begreifen, wie Coulomb mit seiner Wage

zu den Resultaten gelangen konnte, die S. 381 über den Elektrizitätsverlust durch die isolirenden Stützen und durch die Luft mitgetheilt wurden.

Schließlich soll nur noch erwähnt werden, daß die Drehwage in hohem Grade an Empfindlichkeit gewinnt, wenn dem Torsionsdrahte e ein Coconfaden, dem beweglichen Hollundermarkkügelchen α ein Probescheibchen substituirt und als Hebel D ein möglichst dünner Schellackfaden angewendet wird; daß Rieß in Pogg. Ann. B. 71, S. 359 u. f. w. eine Einrichtung dieser Wage beschrieben und eine Anweisung zu gehöriger Anwendung derselben gegeben habe, bei welcher (Einrichtung und Anwendung) die vielseitig erhobenen Bedenken gegen die Verläßlichkeit des in Rede stehenden Instrumentes als Elektrometer alle hinwegfallen, und endlich, daß durch Richtigkeit und Empfindlichkeit vorzüglich ausgezeichnet jenes Dellmann'sche Elektrometer sei, dessen Einrichtung, Gebrauch und Leistungen man in Pogg. Ann. B. 72, S. 353 durch Kohlrausch beschrieben findet.

197. Nähere Betrachtung der Elektrizitäts-Erregung durch Reiben. Durch Reiben werden immer beide Elektrizitäten hervorgerufen, so daß der eine der sich reibenden Körper jederzeit + E und der andere — E enthält, und beide Elektrizitäten treten in dem Verhältnisse hervor, in welchem sie sich völlig zu neutralisiren vermögen. Man überzeugt sich hievon unter andern, wenn man die obere, wohl geschliffene Fläche der Collectorplatte eines Goldblatt-Elektroskopes mit der gleichfalls wohl geebneten Fläche eines Nichtleiters z. B. einer Glas- oder Harzscheibe reibt. Es wird dabei keine oder nur eine äußerst geringe Divergenz der Blättchen Statt finden; nach der Trennung beider Scheiben wird aber die eine deutlich + E und die andere — E zeigen *). Offenbar erfolgt während des Reibungsprozesses an den äußersten Oberflächen der sich reibenden Körper die Zersetzung eines Theiles der zum natürlichen Zustand neutralisirt vorhandenen Elektrizitäten (der natürlichen Elektrizität); warum sich aber der positive Bestandtheil nur auf dem einen, der negative nur auf dem andern der beiden Körper ansammelt, ist bis jetzt noch nicht erklärt. Welcher von den sich reibenden Körpern + E und welcher — E erhält, hängt von der Natur dieser Körper, von der Beschaffenheit ihrer Oberfläche und von der Art der Reibung ab. So wird z. B. polirtes Glas negativ elektrisch, wenn man es mit einem Katzenfelle oder Fuchsschwanze, hingegen positiv, wenn man es mit Wolle oder Seide reibt; matt geschliffenes Glas erhält in beiden Fällen — E, durch Reibung mit Metall oder Schwefel jedoch + E. Harz (Siegellack) wird, man mag es mit Katzenfell, Fuchsschwanz, Seide oder Wolle reiben, immer negativ elektrisch. Von zwei kreuzweise an einander geriebenen Seidenbändern ganz gleicher Beschaffenheit erhält stets das der Länge nach geriebene + E und das nach der Quere geriebene — E.

Die Menge der durch Reiben hervorgerufenen Elektrizität hängt außer der materiellen Beschaffenheit der Körper auch von der Temperatur derselben, von der Größe der sich reibenden Flächen und meistens auch von der Größe des beim Reiben Statt findenden Druckes ab; beim Glase ist dieser letztere ohne Einfluß. Die Ausscheidung von Elektrizität durch Reibung kann höchstens nur so weit gesteigert werden, bis das Bestreben der (durch den Reibungsprozeß) geschiedenen Elektrizitäten sich wieder zu ver-

---

*) Recht leicht und augenfällig auch wieder für ein großes Auditorium läßt sich nach Winter mit seinem vorn in Fig. 364 abgebildeten Apparate der Gegensatz der Elektrizitäten des geriebenen und des reibenden Körpers zeigen, indem man einen Glasstab mit einem Seidenzeugfleck reibt, der auf einem Kautschukblatte so aufgeklebt ist, daß dieses ringsherum etwa 1'' vorsteht, hierauf mit dem einen der Conductoren A, B, z. B. mit A die Glasstange, und mit dem andern B den durch das Kautschukblatt von der Hand isolirten Seidenzeugfleck in Berührung bringt und nun die Elektrizitäten der divergirenden Papiercylinderpaare an den Conductoren und zwar durch Annähern der geriebenen Glasstange zuerst an das eine, dann an das andere Paar untersucht. Das Zunehmen der Divergenz am ersteren Paare wird, gemäß (127), beweisen, daß dieses so wie die Glasstange + E und das Abnehmen der Divergenz am letzteren Paare wird zeigen, daß dieses vom Seidenzeugfleck — E erhalten habe.

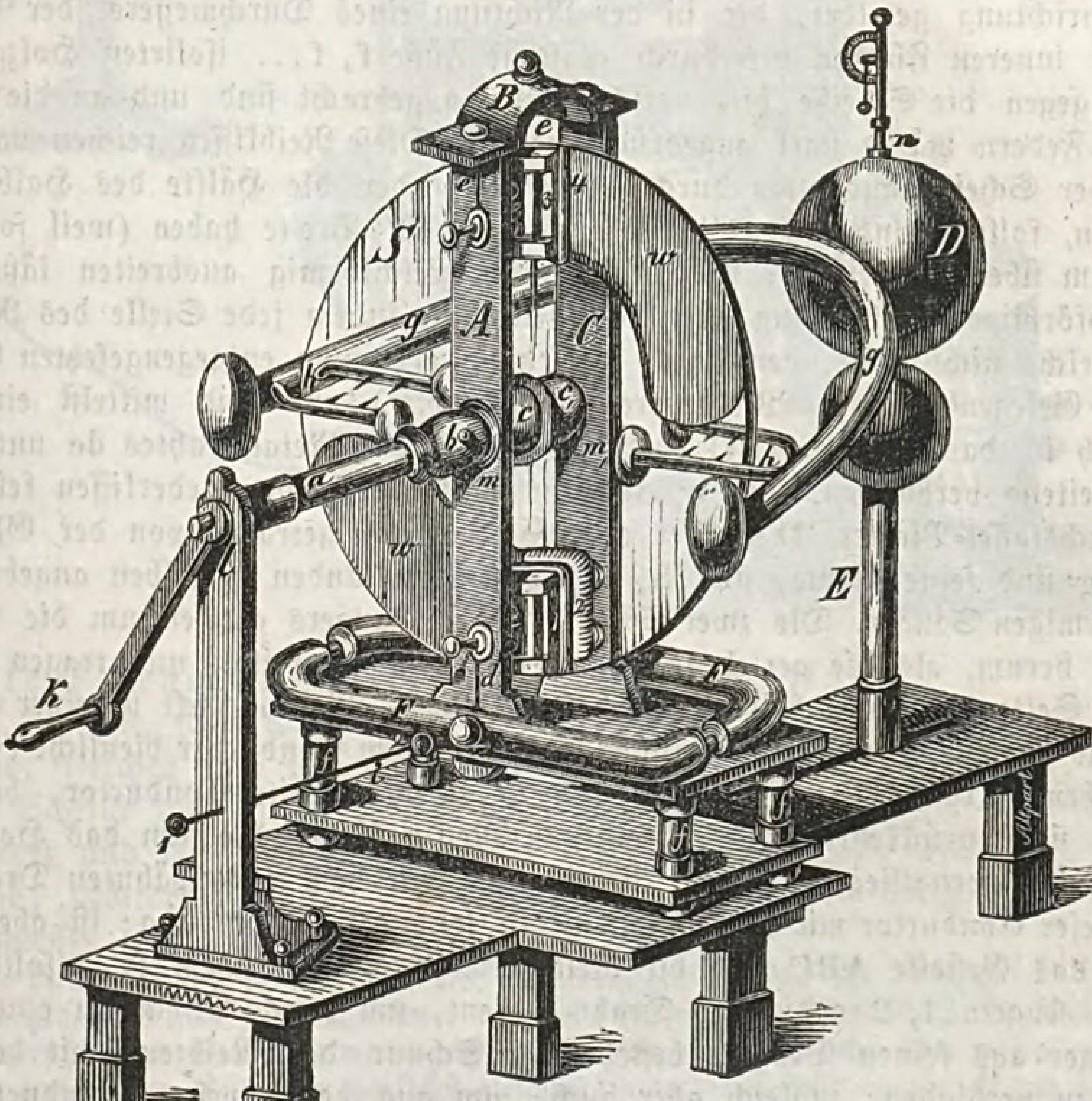
einigen, mit der beim Reiben wirksamen zersetzenden Kraft und dem Widerstande ins Gleichgewicht getreten ist, welchen dieser Vereinigung der Grad geringerer Leitungsfähigkeit der betreffenden Körper für die Elektrizität entgegensetzt. Stärkere Elektrisirung kann durch Reiben nur dann bewirkt werden, wenn wenigstens einer der sich reibenden Stoffe ein schlechter Leiter ist, und alles was die Leitungsfähigkeit dieses letzteren vermehrt, z. B. Feuchtigkeit, vermindert die Anhäufung der getrennten Elektrizitäten, und setzt der Elektrisirung eine frühere Grenze.

198. Elektrisirmaschine. Um durch Reibung anhaltend kräftigere Elektrizität zu erzeugen und dieselbe zum Behufe geeigneter Verwendung ansammeln zu können, bedient man sich der sogenannten Elektrisirmaschinen. Eine solche Maschine besteht im Wesentlichen aus einem Körper, der gerieben wird, einem, welcher reibt (das Reibzeug) und einem isolirten Leiter (dem Conductor), welcher die durch Reiben erregte Elektrizität aufnimmt. Der zu reibende Körper ist entweder ein hohler Cylinder oder gewöhnlicher und am besten eine runde, nach Art der Spiegelgläser überall gleich dicke, beiderseits wohl polirte, von oberflächlich liegenden Sandkörnern und Blasen freie Scheibe aus weißem hartem Kaliglas, welches nur geringen Kaligehaltes wegen aus der Luft nicht leicht Feuchtigkeit aufnimmt (wenig hygroskopisch ist). Das Reibzeug besteht bei den Cylindermaschinen gewöhnlich aus einem, bei den Scheibenmaschinen gewöhnlicher, älterer Einrichtung aus 2 oder 4 mit Roßhaaren fest ausgestopften Lederkissen, die zur Rückseite eine Holzplatte haben, und auf deren Vorderseite ein Amalgam aus Quecksilber, Zinn und Zink (am besten das Kienmaier'sche Amalgam, welches aus 2 (Gew.) Theilen Quecksilber, 1 Thl. Zinn und 1 Thl. Zink erhalten wird) mit etwas Schweinefett oder Talg gemengt, gleichförmig aufgestrichen ist. Indem die amalgamirte Lederfläche mittelst einer auf die Rückseite des Kissens wirkenden Feder mäßig stark an die convexe Fläche des Cylinders oder an die ebenen Seitenflächen der Scheibe angedrückt und der betreffende Glaskörper um eine horizontale Axe gedreht wird, findet die die Elektrizität erregende Reibung Statt. Der Conductor ist ein dem Glaskörper nahe stehender, durch Füße von massiven (nicht hohlen) Glasstangen isolirter und in allen Theilen wohl abgerundeter, gut polirter Leiter aus mit Staniol überzogenem Holze oder (besser) aus Messingblech; er hat gewöhnlich Kugel- oder Cylinderform und einen oder zwei Arme, die sehr nahe an die geriebenen Glasflächen reichen und an ihren Enden (den Saugern) meistens mit diesen Flächen zugekehrten Spitzen versehen sind. Indem die durch Reibung mit + E geladenen Parthien des Glaskörpers nacheinander an den in der elektrischen Atmosphäre dieses Körpers befindlichen Armen des Conductors vorbeibewegt werden, erfährt letzterer eine Zerlegung seines natürlichen Zustandes in + E und — E, seine — E verbindet sich mit der + E der eben an den Armen vorübergehenden Parthien des Glaskörpers und versetzt sie wieder in den natürlichen Zustand (diese Verbindung wird durch die vorerwähnten Spitzen an den Saugern begünstigt), die + E des Conductors hingegen wird frei und er erscheint mit derselben geladen. Da diese + E an Quantität der im Glase durch Reibung erzeugten und nachher durch die — E des Conductors neutralisirten + E gleichkömmt, so muß die elektrische Ladung des letzteren offenbar in dem Maße immer mehr anwachsen, als bei fortgesetztem Drehen des Glaskörpers den Conductor-Armen mehrere mit + E geladene Parthien dieses Körpers dargeboten werden (die Parthien, welche durch die vorbesagte Verbindung ihrer + E mit der — E des Conductors in den unelektrischen Zustand zurück versetzt wurden, erfahren natürlich, wenn sie abermals das Reibzeug passiren, eine neuerliche Ladung mit + E). Damit von der durch Reiben erregten Elektrizität des Glases auf dem Wege, den die geriebenen Stellen vom Reibzeuge bis zu den Conductor-Armen zurückzulegen haben, durch Berührung mit der Luft nichts verloren gehen könne, ist von jedem Reibkissen bis in die Nähe des betreffenden Conductor-Armes ein an ersterem fest

genähtes Blatt von Wachstaffet gespannt, welches die Berührung zwischen der mit Elektrizität geladenen Glasfläche und der Luft hindert. Weil nach **197** zugleich mit der +E im Glaskörper auch —E im Reibzeuge hervorgerufen wird, diese —E aber durch ihre Anziehung zur +E des Glases die Absonderung der letzteren (eigentlich die freie vertheilende Wirkung derselben auf den Conductor) hemmt; so muß die besagte —E abgeleitet werden, was durch Herstellung einer leitenden Verbindung zwischen dem Reibzeuge und der Erde geschieht. Um andererseits die —E des Reibzeuges in gleicher Weise wie die +E des Glaskörpers ansammeln und verwenden zu können, braucht an der Maschine nur ein zweiter Conductor angebracht zu sein, der mit dem Reibzeuge (mit allen Reibkissen) leitend verbunden, sonst aber so wie das Reibzeug selbst allseitig isolirt ist. Vereinigt man nun den früher besprochenen (den ersten) Conductor durch einen Leiter mit der Erde, so wird die das freie Auftreten der —E des Reibzeuges hindernde +E des Glases abgeleitet und es tritt am zweiten Conductor die —E des Reibzeuges kräftig hervor. Daß man dann, um im ersten Conductor +E von großer Spannung zu erhalten, den zweiten Conductor mit der Erde leitend zu verbinden habe, bedarf wohl keiner Erwähnung.

Vor jedesmaligem Gebrauche der Elektrisirmaschine soll durch sorgfältige Abwischen der isolirenden Glasfüße (am besten mit einem Seidentuch), so wie des Glascylinders oder der Glasscheibe, mittelst eines warm gemachten oder (besser) mit ungelöschtem Kalk eingestaubten wollenen Tuches alle Feuchtigkeit und aller Staub entfernt und Cylinder oder Scheibe sollen überdies auch von allem etwa anhaftenden Amalgam gereinigt werden; denn die Feuchtigkeitstheilchen und die wie Theilchen trockener Luft wirkenden Staubtheilchen entziehen aus den, auf S. 381 in **192** ange-

Fig. 367.

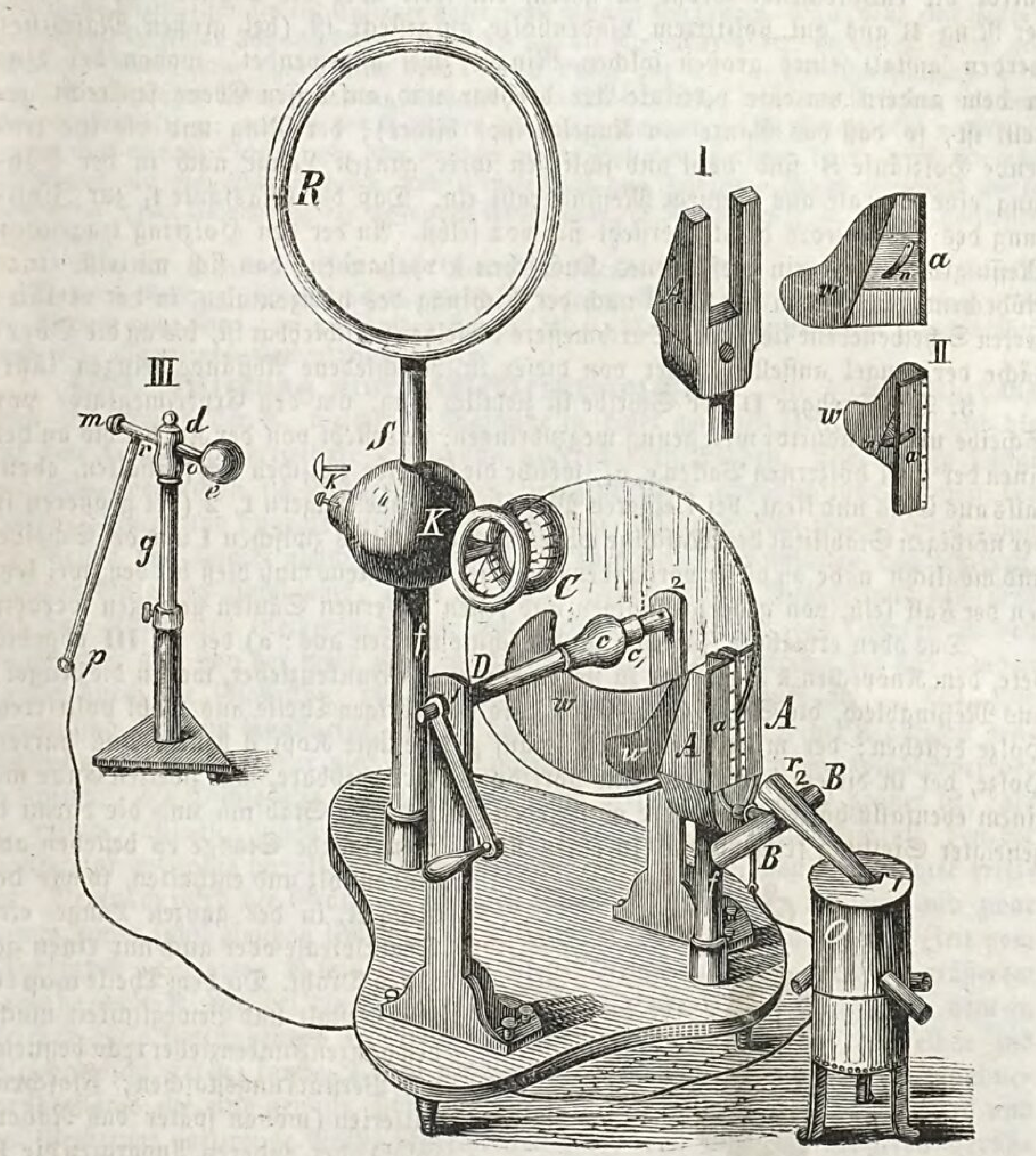


gebenen Gründen der Maschine sehr viel Elektrizität. Bei größerer Luftfeuchtigkeit geben deswegen Maschinen, die in trockener Atmosphäre sehr kräftig sind, nur äußerst schwache Wirkungen, und es reicht da, um sie wirksamer zu machen, auch das erwähnte Abwischen nicht hin, sondern man muß die ganze Luft in der nächsten Umgebung austrocknen und, so lange die Maschine im Gange ist, trocken erhalten, was sich leicht mittelst eines oder zweier kleiner Blechöfen erzielen läßt, die mit Circulationsröhren versehen sind und, in der Nähe der Maschine, am passenden, später näher bezeichneten Orte aufgestellt, dieser, vorzüglich ihrem Cylinder oder ihrer Scheibe fortwährend warme (beim Durchzuge durch die Circulationsröhren angewärmte) Luft zuführen.

Die Fig. 367 zeigt eine größere Scheibenelektrisirmaschine mit all den oben angegebenen Bestandtheilen in einfacher und zweckmäßiger Zusammenstellung. Die Scheibe **S** (von etwa 3‴ Dicke und 18 bis 60″ Durchmesser) hat in der Mitte ein Loch, durch welches die mit einer Kurbel **k** versehene Drehaxe ab geht. Auf dieser ist die Scheibe dadurch festgemacht, daß sie mit der einen Fläche an dem auf der Axe fixirten halbkugelförmigen Stücke c aus hartem, wohl ausgetrocknetem und überfirnißtem Holze anliegt und an dasselbe durch ein ähnliches Holzstück c_1 angedrückt wird, welches auf einem in die Axe geschnittenen Gewinde gegen die zweite Fläche der Scheibe geschraubt ist. Die der Scheibe zugewendeten ebenen Flächen beider Holzstücke sind durch einen Ueberzug von Leder weich und elastisch gemacht, damit die Scheibe ohne Gefahr des Zerspringens zwischen denselben hinlänglich fest eingepreßt werden kann. Die Axe ab dreht sich in den Lagern l, m und besteht an dem vordern Theile a der Isolirung wegen aus Glas übrigens aus Eisen; bei kleineren Maschinen auch aus Holz. Das Reibzeug ist aus zwei Paaren amalgamirter Lederkissen 1, 2 und 3, 4 von oben beschriebener Einrichtung gebildet, die in der Richtung eines Durchmessers der Scheibe an den inneren Flächen des durch gläserne Füße f, f... isolirten Holzgestelles **ABC**, gegen die Scheibe hin verschiebbar, angebracht sind und an die letztere mittelst Federn mäßig stark angedrückt werden. Diese Reibkissen reichen vom Umfange der Scheibe aus etwa durch ein Drittel oder die Hälfte des Halbmessers derselben, sollen mindestens 1″ und nicht über 2″ Breite haben (weil sonst das Amalgam über die reibende Fläche sich nicht gleichförmig ausbreiten läßt, eine ungleichförmige Ausbreitung aber nachtheilig ist, indem jede Stelle des Reibzeuges, welche nicht reibt, den durch Zersetzung erzeugten entgegengesetzten Elektrizitäten Gelegenheit zur Wiedervereinigung bietet) und sind mittelst eines gewöhnlich in das Gestell **ABC** eingelassenen dicken Metalldrahtes de unter einander leitend verbunden. Bei w, w sieht man die an den Lederkissen festgenähten Wachstaffet-Blätter. **D** ist der erste Conductor, getragen von der Glassäule **E**; g, g sind seine Arme, und h, h die an den Enden derselben angebrachten, gabelförmigen Sauger. Die zwei Schenkel jedes Saugers greifen um die Scheibe so weit herum, als die geriebene Zone dieser letzteren reicht, und tragen an der inneren Seite die der Scheibe zugekehrten Spitzen. Bei n steckt in einer Vertiefung das zur Schätzung der elektrischen Spannung am Conductor dienliche (S. 390 beschriebene) Quadranten-Elektroskop. **F**, **F** ist der zweite Conductor, bestehend aus in sich zurückkehrenden Röhren von Messingblech, die um das Holzgestell **ABC** unten herumliegen. Durch Vereinigung mit dem vorerwähnten Drahte de steht dieser Conductor mit dem Reibzeuge in leitender Verbindung; ist aber sonst, so wie das Gestelle **ABC** und die Reibkissen durch Glasfüße f, f... isolirt. Der in zwei Kugeln 1, 2 endigende Draht i dient, um durch Anhängen einer Kette oder einer aus feinen Drähten bestehenden Schnur das Reibzeug mit der Erde leitend zu verbinden; zugleich aber auch, um aus dem zweiten Conductor auf später anzugebende Weise starke Funken ziehen zu können.

C. **Winter** in Wien (Wieden, Waggasse 501) gibt seinen Elektrisirmaschinen, von welchen schon auf S. 390 gesagt wurde, daß sie in ihrer Wirkung ausgezeichnet sind, eine in vielen Punkten von der eben beschriebenen wesentlich verschiedene, eigenthümliche Einrichtung, die aus der Fig. 368 ersichtlich ist, welche eine **Winter'**sche Maschine und einiges bei ihrem Gebrauche nützliches Zugehör darstellt.

Fig. 368.



Die Eigenthümlichkeiten der Maschine sind:

1. Sie hat, selbst wenn die Scheibe noch so groß ist, nur ein einziges Reibkissenpaar, welches dem aus zwei massiven Ringen von hartem Holze, die an den der Scheibe zugekehrten Seiten mit durch aufgeklebte Zinnfolienstreifen unter einander und mit dem Conductor in Verbindung gesetzten Metallspitzen versehen sind, gebildeten Sauger C in diametraler, gegen den horizontalen Scheibendurchmesser geneigter Richtung gegenübersteht.

Die Reibkissen sind in ein hölzernes, gabelförmiges Gehäuse AA eingeschoben, welches von einem gläsernen Fuß f getragen wird und bei I für sich abgebildet ist. Jedes Kissen (siehe bei II. in verschiedener Stellung) wird durch eine Feder n ganz schwach, aber mit allen Punkten seiner ganz ebenen Reibfläche möglichst gleichmäßig an die Scheibe angedrückt und hat einen Flügel w anstatt aus Wachstafft aus einem Stoff eigener, von **Winter** geheimgehaltener Zurichtung, der immer eine vollkommen glatte Oberfläche behält und sich daher mit allen Punkten seiner ganzen Fläche stets innig an die Glasscheibe anschmiegt. Die Gestalt dieser Flügel,

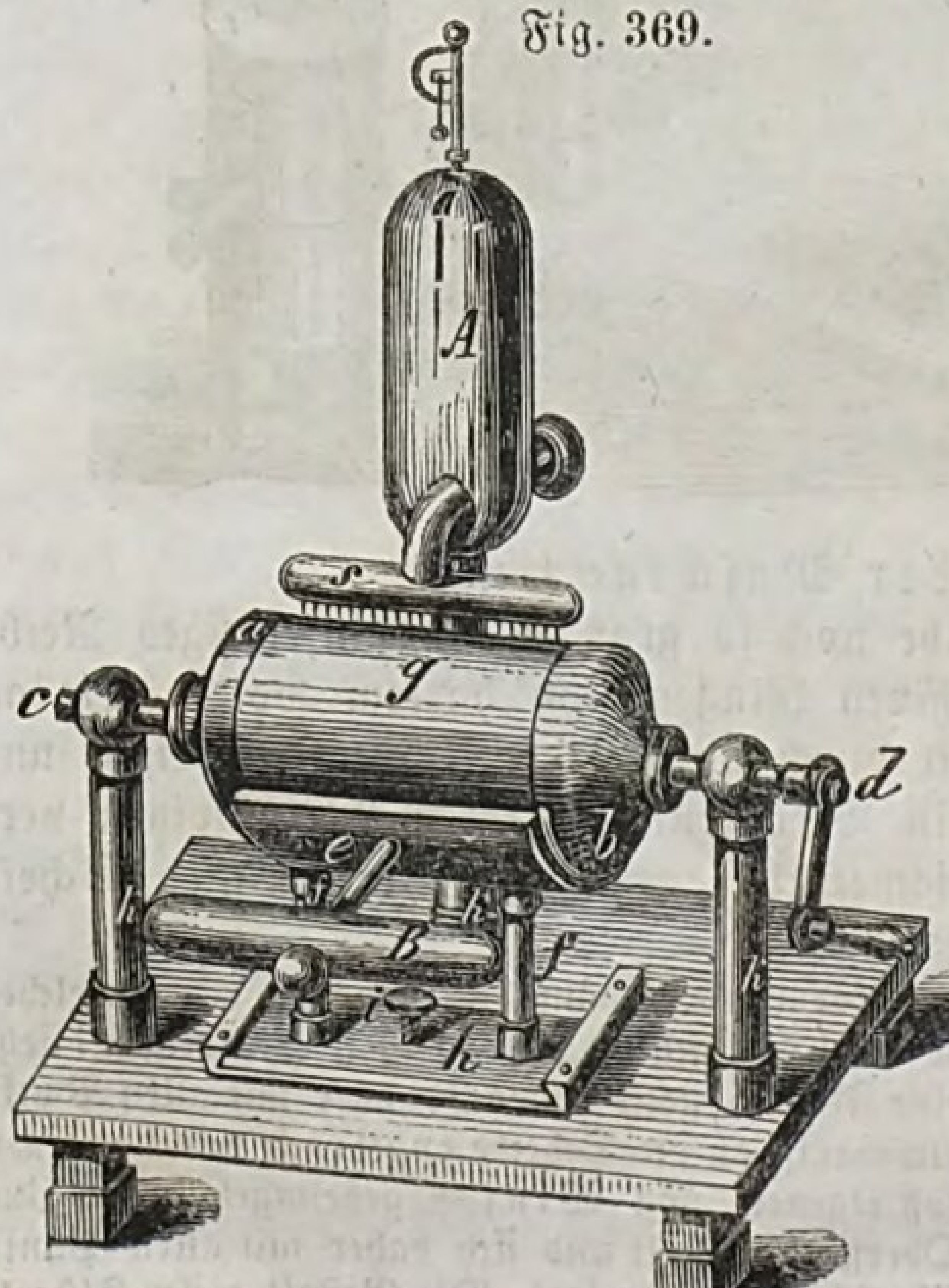
so wie daß der auf Seite der Kurbel an der Scheiben-Drehaxe liegende viel kürzer ist als der zweite, zeigt die Figur deutlich und eben so auch die Art, in welcher das Reibkissenpaar (Reibzeug) mit dem vom nämlichen Glasfuß f getragenen zweiten, aus Messingblech bestehenden Conductor B leitend vereinigt ist.

2. Der erste Conductor besteht gewöhnlich bei kleineren Maschinen aus einer, bei großen aus zwei Kugeln **K** von Messingblech, auf welche, um dem Conductor die entsprechende Größe zu geben, ein weit über die Scheibe emporragender Ring **R** aus gut politirtem Lindenholze aufgesteckt ist (bei großen Maschinen werden anstatt eines großen solchen Ringes zwei angewendet, wovon der eine in dem andern um eine vertikale Axe drehbar und auf dessen Ebene senkrecht gestellt ist, so daß das Ganze ein Kugelgerippe bildet); der Ring und die ihn tragende Holzsäule **S** sind hohl und schließen ihrer ganzen Länge nach in der Höhlung eine Spirale aus dünnem Messingdraht ein. Daß die Glassäule f_1 zur Isolirung des Conductors dient, versteht sich von selbst. An der den Holzring tragenden Messingkugel **K** ist ein messingenes Knöpfchen k vorhanden, das sich mittelst eines Röhrchens, welches in der Kugel nach der Richtung des horizontalen, in der verlängerten Scheibenebene liegenden Durchmessers derselben verschiebbar ist, bis an die Oberfläche der Kugel anstellen, oder von dieser in verschiedene Abstände bringen läßt.

3. Die Drehaxe **D** der Scheibe ist ziemlich lang, um den Experimentator von Scheibe und Conductor weit genug wegzubringen; sie besteht von der Kurbel bis an den einen der zwei hölzernen Backen c, c_1, welche die Scheibe zwischen sich festhalten, ebenfalls aus Glas und liegt, bei kleineren Maschinen in zwei Lagern **1**, **2** (bei größeren ist der nöthigen Stabilität der Maschine wegen noch ein drittes zwischen **1** und der Scheibe, und möglichst nahe an dieser vorhanden), welche, mindestens muß dieß bei den zwei letzten der Fall sein, von gehörig massiven und festen gläsernen Säulen getragen werden.

Das oben erwähnte Zugehör zur Maschine machen aus: a) der bei **III** abgebildete, dem Knöpfchen k gegenüber zu stehen kommende Funkenzieher, woran die Kugel e aus Messingblech, die Säule g aus Glas, und die übrigen Theile aus wohl politirtem Holze bestehen; der mittelst einer Hülse auf g befestigte Kopf d besteht aus hartem Holze, der in diesem Kopfe um seine horizontale Axe drehbare, am zweiten Ende mit einem ebenfalls hölzernen Knopfe m versehene cylindrische Stab mo und die daran in geneigter Stellung festgemachte, in einen Knopf p endigende Stange rp bestehen aus Lindenholz und enthalten, so wie der Ring **R**, in der ganzen Länge eine Drahtspirale oder auch nur einen geraden Draht. Die dem Theile mop eigene Gestalt und Beweglichkeit macht den ganzen Funkenzieher recht bequem, um Verstärkungsflaschen, Flaschenbatterien (wovon später das Nähere folgt) oder anderen Apparaten die **E** des Conductors zuzuführen; b) der zum Anwärmen und Trockenerhalten der Scheibe und ihrer Umgebung dienende blecherne Circulationsofen **O**, dessen schon S. 396 Erwähnung geschah und der, wie man in der Figur sieht, so aufzustellen ist, daß das Austrittsrohr $r_1 r_2$ der warmen Luft in der verlängerten Scheibenebene und die Ausmündung r_2 gerade hinter dem Reibzeuge sich befindet.

Fig. 369.



Cylinder-Elektrisirmaschinen stehen den Scheibenmaschinen an Lei-

stung nach, weil die Cylinder, wie sie zu solchen Maschinen aus den Glashütten bezogen werden, nie eine vollkommen cylindrische Oberfläche haben, daher bei ihrer Drehung das Reibzeug sich nicht überall so gleich innig anschmiegen kann, wie dies bei den aus völlig ebenem und überall gleichdickem Spiegelglase bestehenden Scheiben der Fall ist. Uebrigens wird bei einem Cylinder immer nur eine seiner Flächen (die äußere convexe nämlich) gerieben, bei einer Scheibe hingegen findet die Reibung gleichzeitig an beiden Seitenflächen Statt; eine Scheibe gestattet daher bei mäßigem Durchmesser die Reibung einer viel größeren Glasfläche, mithin die Entwicklung von weit mehr Elektrizität als ein Cylinder unter sonst gleichen Umständen. Man sieht eine Cylindermaschine in Figur 369 abgebildet. ab ist der um die Axe cd drehbare, an beiden Enden geschlossene Glascylinder (gewöhnlich von 1′ — 2′ Länge und 12″ — 18″ Durchmesser). e ist das fast den ganzen Cylinder entlang reichende, von Glasfüßen f, f getragene Reibzeug mit dem Wachstaffetblatte g; mittelst des Schiebers h und der Schraube i läßt sich dasselbe verstellen, so daß man es nach Bedarf mehr oder weniger an den Cylinder andrücken kann. A ist der erste Conductor mit dem Sauger bei s, und B ist der mit dem Reibzeuge leitend vereinigte zweite Conductor (zum Ansammeln der negativen Elektrizität des Reibzeuges); k, k sind isolirende Glassäulen.

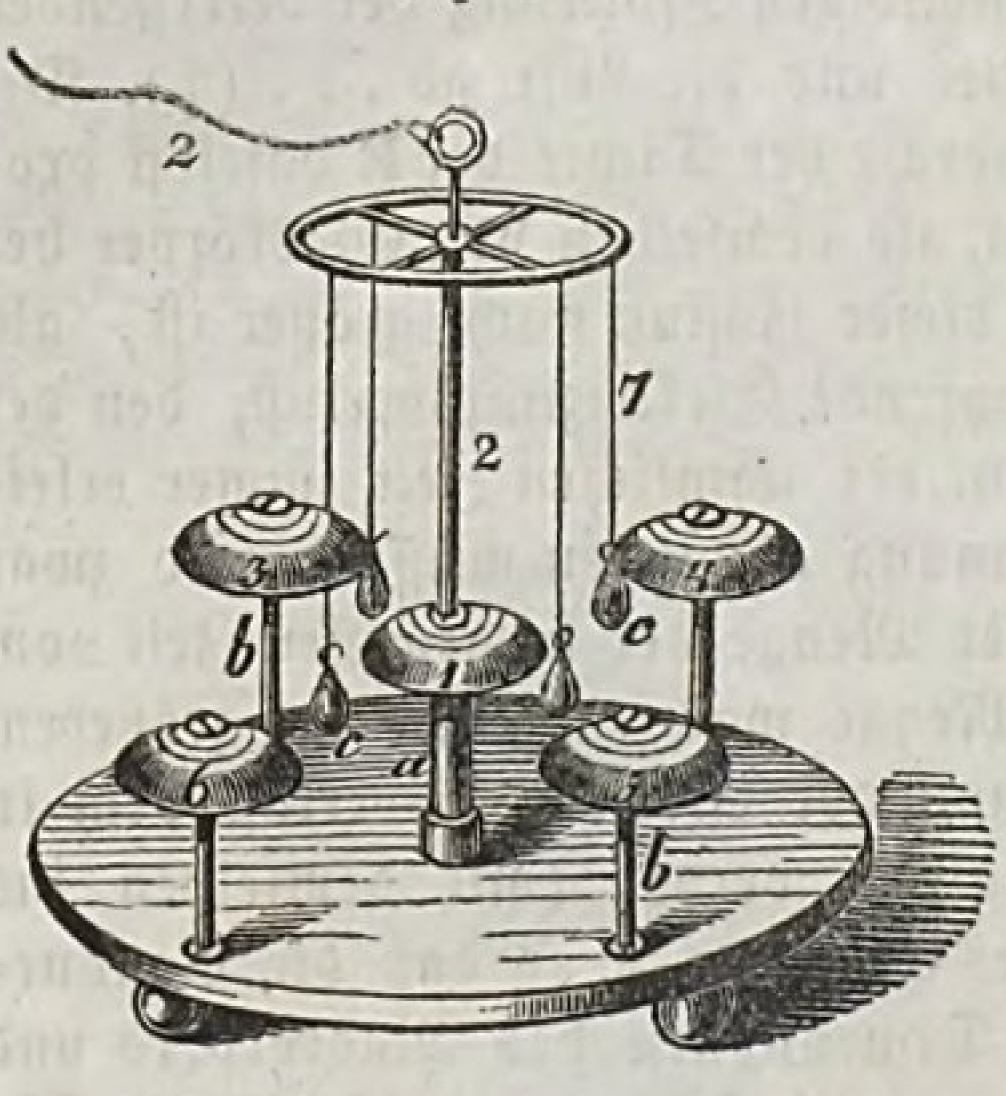
Man hat in neuester Zeit auch Elektrisirmaschinen construirt, woran Gutta Percha, welche durch Reibung sehr stark negativ elektrisch wird, in Gestalt einer Scheibe oder eines breiten Bandes ohne Ende den zu reibenden Körper bildet. Derlei Maschinen haben jedoch bisher noch keine allgemeinere Anwendung gefunden.

199. Wirkung einer Elektrisirmaschine. In dieser Beziehung muß die Menge der E, welche die Maschine in einer gewissen Zeit liefert, und die auf dem Conductor erzielbare Spannung unterschieden werden. Die Menge hängt wie zum Theil schon im Vorhergehenden gelegenheitlich erwähnt wurde, von der Härte, Glätte und hygroskopischen Beschaffenheit des geriebenen Glaskörpers, von der Größe des immer gleichzeitig Reibung erfahrenden Flächenstückes des letzteren, von der Güte des Amalgams, einer möglichst gleichförmigen Ausbreitung desselben auf den Kissen des Reibzeuges, von dem innigen Anschließen des letzteren an den Glaskörper und von der mehr oder weniger vollständigen Isolirung der betreffenden Theile durch die Glasfüße, die Wachstaffetblätter und die Luft ab . . . (†). Die Spannung auf dem Conductor, welche dem Quadrate der Dichte der E daselbst proportional ist, kann offenbar nur so lange zunehmen, als demselben von Glaskörper her E zufließt, die Dichte also vermehrt wird, und dieser Zufluß noch größer ist, als der mit der allmälig zunehmenden Spannung wachsende Elektrizitätsverlust, den der Conductor zu Folge unvollkommener Isolirung in der nämlichen Zeit immer erleidet. Demnach wird die Größe der besagten Spannung abhängen müssen, und zwar immer unter sonst gleichen Umständen: 1. von der Menge der in gewisser Zeit vom Glaskörper gelieferten E und wird mit dieser Menge wachsen, weil bei größerem Zuflusse von E erst bei einer größeren Spannung der Elektrizitätsverlust dem in gleicher Zeit stattfindenden Elektrizitätszuflusse gleich werden (mit demselben ins Gleichgewicht treten) kann; 2. von der Größe des Conductors, so daß die Conductoroberfläche nie eine gewisse, übrigens mit den Dimensionen des Glaskörpers und der Reibzeuge variirende Größe überschreiten darf, weil sonst der größeren Berührungsfläche mit der Luft wegen das besagte Gleichgewicht schon eintritt, ehe die E des Conductors eine bedeutendere Spannung erreicht hat; 3. gemäß dem Punkt 1. und (†) von möglichst vollkommener Isolirung des geriebenen Glaskörpers und insbesondere des Conductors durch sorgfältiges Abwischen des besagten Glaskörpers so wie der betreffenden zur Isolirung dienenden gläsernen Stangen und möglichste Trocknung der umgebenden Luft auf die S. 395 und 396 empfohlene Weise; vorzüglich wichtig ist es, das Verlorengehen von Elektrizität des Conductors durch ihr Ueberspringen zum Reibzeug zu verhindern, was **Winter** dadurch so vollständig als es überhaupt möglich ist, erreicht, daß er nur ein Reibzeug anwendet, dieses dann viel weiter ($^2/_3$ des ganzes Durchmessers der Scheibe) vom Conductor entfernt anbringen und so das besagte Ueberspringen mehr erschweren kann, als es bei Anwendung mehrerer Reibzeuge thunlich ist.

200. Anwendung der Elektrisirmaschinen. Mittelst einer guten Elektrisirmaschine lassen sich in nachstehend angedeuteter Weise alle im Vorhergehenden bereits besprochenen und auch noch viele andere Erscheinungen, Wirkungen und Eigenschaften der Elektrizität in großem Maßstabe darthun. Es sind dies nämlich: 1. Die elektrische Anziehung und Abstoßung. An Seidenfäden hängende Kork- oder Hollundermarkkügelchen werden von dem Conductor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine schon aus beträchtlicher Entfernung angezogen und nachher wieder abgestoßen; wird auf den Conductor ein Holz- oder Metallstab aufgesetzt, an dessen oberem Ende ein Büschel herabhängender, langer Papierstreifen oder Haare festgemacht ist, so breiten sich diese, indem sie einander und den Stab fliehen, nach allen Seiten hin (die Papierstreifen in Form eines Parapluies) aus; befindet sich ein Mensch auf einem mit gläsernen Füßen versehenen Schämel (einem sogenannten Isolirschämel), so daß er dadurch außer leitende Verbindung mit der Erde gesetzt, mit dem Conductor der in Wirkung begriffenen Elektrisirmaschine aber leitend vereinigt ist (indem er entweder mit dem Conductor selbst oder mit einem von demselben ausgehenden Leiter in Berührung steht), so zeigt er sich in Folge Elektrisirung durch Mittheilung am ganzen Körper elektrisch und das Sträuben seiner Haare, so wie das nach allen Richtungen hin Statt findende Wegfliegen von Papierschnitzelchen, Hollundermarkkügelchen oder dergleichen, die er auf flacher Hand hält, beweisen deutlich, daß mit gleichartiger Elektrizität versehene Körper einander fliehen. — Die elektrische Anziehung und Abstoßung macht man gewöhnlich auch durch das elektrische Glockenspiel, den elektrischen Tanz und den elektrischen Hagel anschaulich.

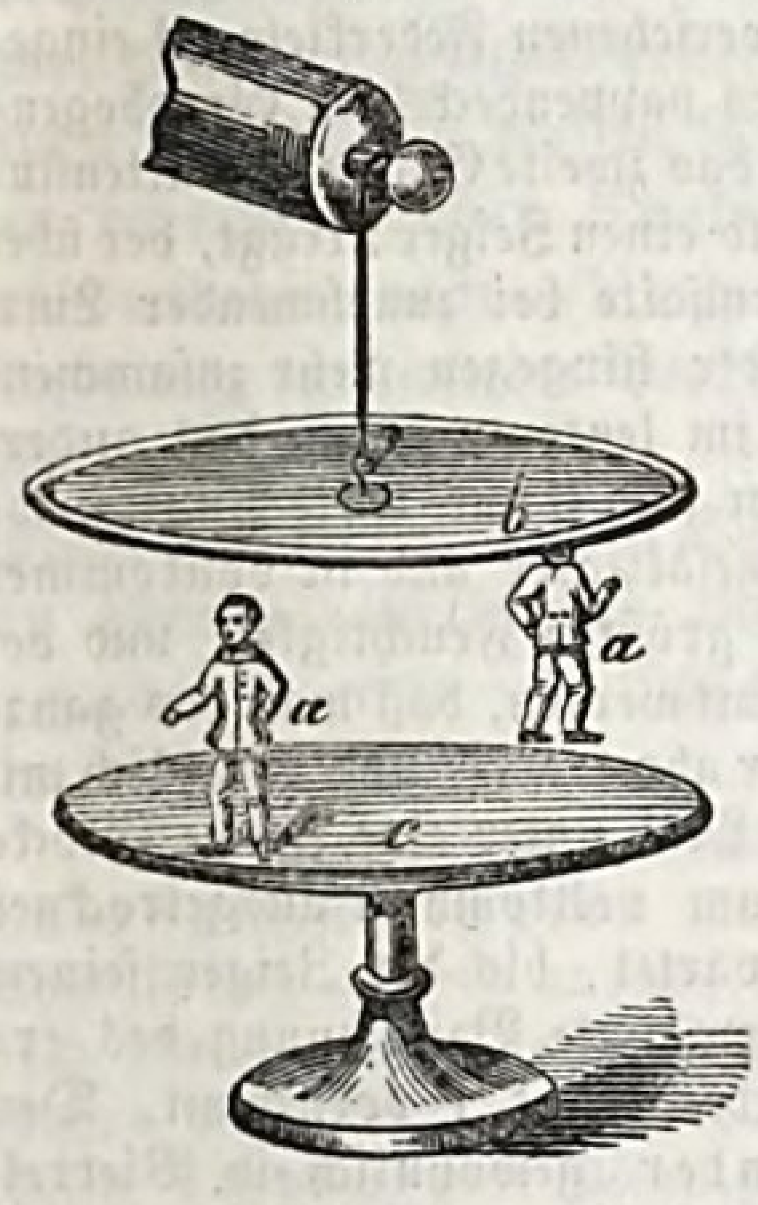
Elektrisches Glockenspiel. Wird ein von einer isolirenden Stütze a (Fig. 370) getragenes Glöckchen 1 mit dem Conductor der Elektrisirmaschine (z. B. durch Drähte 2, 2) leitend vereinigt, befinden sich ferner um dieses Glöckchen herum in geringen Distanzen mehrere andere mit der Erde (etwa durch Metallfüße b, b . . .) in leitender Verbindung stehende Glöckchen 3, 4, 5, 6 u. s. w. und es ist zwischen jedem dieser letzteren und dem Glöckchen 1 ein kleiner Metallkörper c (Klöppel) an einem Seidenfaden 7 isolirt und leicht beweglich aufgehängt; so werden, wenn man die Elektrisirmaschine in Wirkung setzt, alle Klöppel von der durch Mittheilung elektrisch gewordenen Glocke 1 angezogen und schlagen gegen dieselbe. Dabei erhalten sie von dieser Glocke 1 Elektrizität, werden dann von derselben als mit ihr gleichnamig elektrisch zurückgestoßen, bewegen sich in Folge dessen und der gleichzeitig zwischen ihnen und den unelektrischen Glocken 3, 4, 5, 6 u. s. w. stattfindenden Anziehung gegen diese letzteren hin, treten, indem sie die von der Glocke 1 empfangene Elektrizität an die Glocken 3, 4, 5, 6 u. s. w. und durch deren leitende Stützen an die Erde abgeben, wieder in den natürlichen Zustand zurück, werden nachher abermals von der durch die Maschine fortwährend in elektrischer Spannung erhaltenen Glocke 1 angezogen u. s. f., so daß sie immer abwechselnd an die Glocke 1 und an die andern Glocken anschlagen und selbe klingen machen.

Fig. 370.



Elektrischer Tanz. Bei diesem wird ein Männchen a (Fig. 371) aus Hollundermark oder Papier, welches man zwischen zwei über einander angeordneten Metallplatten, wovon die obere b mit dem Conductor einer in Wirksamkeit erhaltenen Elektrisirmaschine und die untere c mit der Erde in leitender Verbindung gesetzt ist, gebracht hat, ganz aus demselben Grunde von der einen Platte gegen die andere auf- und abbewegt, aus welchem bei dem elektrischen Glockenspiele jeder der Klöppel c zwischen der mittleren Glocke 1 und einer der Glocken 3, 4, 5, 6 hin- und hergetrieben wird (das unelektrische Männchen wird nämlich von der elektrischen Platte b angezogen, nimmt bei Berührung derselben Elektrizität auf, erfährt dann von ihr Abstoßung gegen die Platte c hin, verliert an dieser die von b erhaltene Elektrizität wieder, wird nun als natürlich elektrisch abermals von der Platte b angezogen u. s. f.). Substituirt

Fig. 371.



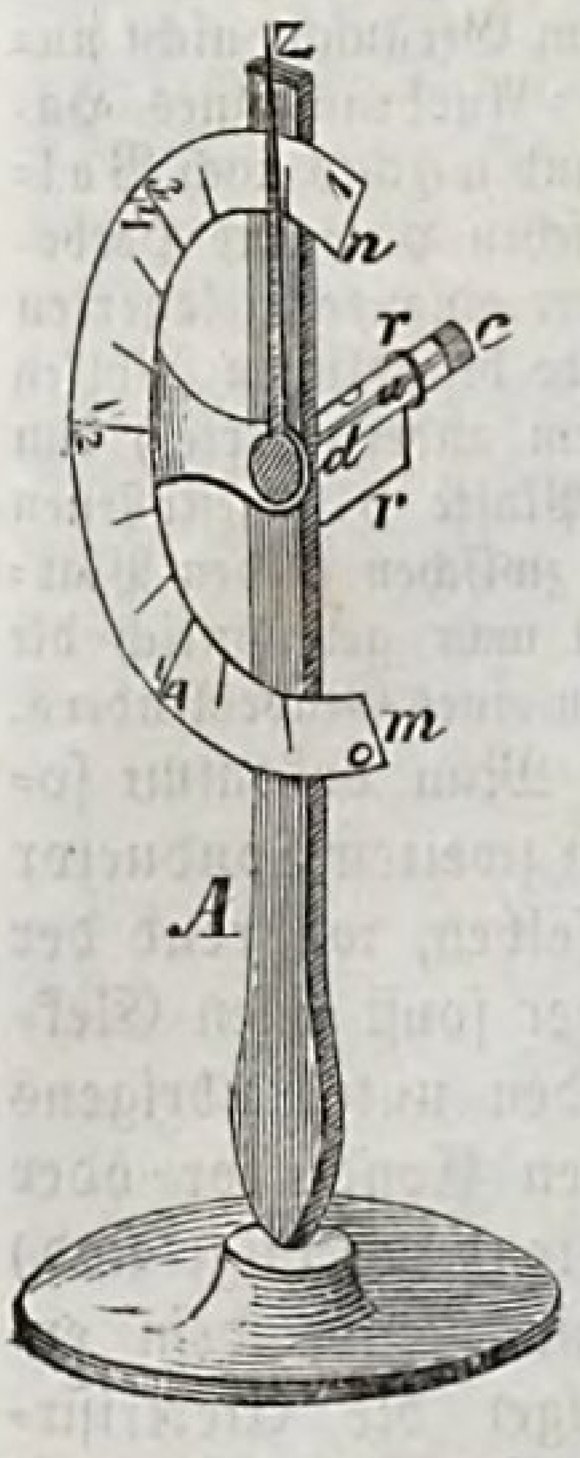
man dem Männchen mehrere Hollundermarkkügelchen, so springen diese gerade wie vorher das Männchen, zwischen den Platten b, c hin und her und man hat dann den sogenannten elektrischen Hagel. (Diesen Namen erhielt die Erscheinung, weil das Geräusch, welches die zwischen den Platten auf- und abspringenden Kügelchen verursachen, dem Geräusche nicht unähnlich ist, das man oft unmittelbar vor Ausbruch eines Hagelwetters in den Wolken wahrnimmt, und welches nach Volta's Theorie des Hagels von einer ähnlichen Hin- und Herbewegung der Hagelkörner zwischen zwei über einander gelagerten und im entgegengesetzt elektrischen Zustande befindlichen Wolken hergeleitet wird. Mehr hierüber an einem andern Orte.) Um zu verhindern, daß die von der oberen Platte b abgestoßenen Hollundermarkkügelchen aus dem Raume zwischen beiden Platten b, c herausgetrieben werden, macht man gewöhnlich die eine zum Deckel und die andere zum Boden eines Glascylinders.

2. **Das elektrische Licht.** Man bekommt sowohl von dem ersten als auch von dem zweiten Conductor glänzende Funken, wenn man demselben, während der andere mit der Erde in leitender Verbindung steht, die Hand oder sonst einen Elektrizitätsleiter hinreichend annähert. Die stärksten Funken werden unter übrigens gleichen Umständen erhalten, wenn man einen mit dem zweiten Conductor oder mit dem Reibzeuge (während diese selbst mit der Erde gut leitend vereinigt sind) in leitende Verbindung gesetzten, sonst aber isolirten Elektrizitätsleiter dem ersten Conductor in gehöriger Entfernung darbietet. Je kräftiger die Elektrisirmaschine wirkt, aus desto größerer Entfernung springen die Funken von dem Conductor auf den besagten Elektrizitätsleiter über, so daß man nach der größten Distanz, aus welcher dieses Ueberspringen von Funken noch stattfindet und welche die Schlagweite, auch die Funkenlänge heißt, die Kraft einer Elektrisirmaschine zu schätzen pflegt. Die Schlagweite ist der Erfahrung gemäß unter sonst gleichen Verhältnissen in dünnerer Luft größer als in dichterer, und am weitesten geht die **E**, aber nicht mehr in Funkengestalt, sondern in Form eines Strahlenbüschels im luftleeren Raume von einem Leiter auf einen andern über. Die Funkenlänge hängt übrigens von der Gestalt und Ausdehnung des Conductors an der Stelle, wo der Funke aus ihm gezogen wird, des Leiters, auf den er überspringen soll und vom Feuchtigkeitszustande der Luft ab, auch ist sie der Dichte der angehäuften **E** proportional, für + **E** und — **E** verschieden, und es ist die Lichtstärke des elektrischen Funkens ihrem Quadrate proportional. Die längsten Funken bekommt man, wenn dieser Leiter eine größere (mehrere Zolle im Durchmesser haltende) Metallkugel ist (wie die Kugel c an dem bei **III** in Fig. 368 abgebildeten Funkenzieher), der Funke damit (nach Winter) aus einem am Conductor angebrachten kleinen Messingknopfe (wie k an der Kugel **K** in Fig. 368) gezogen wird, endlich die Luft möglichst trocken ist und überhaupt alle vorn besprochenen, eine hohe Spannung am Conductor begründenden Umstände die günstigsten sind.

Unter diesen günstigsten Umständen gilt für jede Winter'sche Maschine die Regel, daß sie immer Funken gibt, deren Länge $\frac{2}{3}$ des Durchmessers der Scheibe (nämlich dem Abstande des Reibzeuges vom Sauger) gleich ist, also bei einer Maschine z. B. mit 30zölliger Scheibe, **20** Zolle beträgt ... (†). (Eine im physikalischen Kabinete des hiesigen k. k. polyt. Institutes befindliche, von Winter nach seinem Principe umstaltete Maschine mit einer Scheibe von **64** Zoll Durchmesser gibt unter den günstigsten Umständen **42** Zoll lange, äußerst kräftige Funken.) Je ungünstiger die besagten Umstände werden, desto weiter bleiben die Maschinen hinter dieser Regel zurück und es steht nach Winters Erfahrungen die Abnahme der bei ganz trockener Luft stattfindenden ($\frac{2}{3}$ des Scheibendurchmessers betragenden) größten Funkenlänge mit der Zunahme der Luftfeuchtigkeit in einem so innigen Zusammenhange, daß er sich eines eigens graduirten Darmsaiten-Hygroskopes (man sehe die Hygroskope in der Wärmelehre nach), das er dann Hygroelektrometer nennt, bedient, um die Länge der Funken zu erfahren, die von einer Maschine seiner Einrichtung bei einem eben herrschenden Feuchtigkeitszustande der Luft verlangt und auch sicher erwartet wer-

den kann. Man sieht ein solches Hygroelektrometer in Fig. 372 abgebildet. a ist ein Stück Darmsaite, welches mit dem Ende c in dem mit einigen Seitenlöchern versehenen Federkiele cd eingekittet ist, der aus der hölzernen Säule A senkrecht auf die Ebene des pappendeckelnen Gradbogens mn hervorsteht, und von dem Drahte r festgehalten wird, während das zweite Ende des Saitenstückes durch ein Loch in A frei hindurchgeht und einen Zeiger z trägt, der über dem Gradbogen spielt, und, da die Darmsaite bei zunehmender Luftfeuchtigkeit sich mehr auf-, bei abnehmender hingegen mehr zusammendreht, im ersteren Falle gegen das eine, im letzteren gegen das andere Ende des Gradbogens hin geht. Auf diesem sind 0 und 1 die Punkte, wo der Zeiger respektive in mit Feuchtigkeit gesättigter und in vollkommen trockener Luft steht, d. i. die Punkte der größten Feuchtigkeit und der größten Trockenheit, welche dadurch bestimmt werden, daß man das ganze Apparatchen einmal unter eine mit Wasser abgesperrte und innerlich mit Wasser besprengte Glocke und ein anderes Mal unter eine zweite Glocke bringt, worin die Luft durch Chlorcalcium vollkommen ausgetrocknet wurde und erhalten wird, beide Male wartet, bis der Zeiger seinen Stand nicht mehr ändert und dann die erwähnte Bezeichnung des ersteren Standpunktes mit 0 und des andern mit 1 vornimmt. Den Bogenabstand beider Punkte theilt Winter gewöhnlich in Viertel, und versichert, noch bei allen von ihm verfertigten Maschinen immer die ganze Funkenlänge, welche nach obiger Regel (†) Statt zu finden hat, oder nur $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$ dieser Länge erhalten zu haben, je nachdem der Zeiger seines an der Maschine aufgestellt gewesenen Hygroelektrometers auf den mit 1, oder auf den mit $^3/_4$, $^1/_2$ oder $^1/_4$ bezeichneten Punkt hinwies. Ist der Bogenabstand von 0 und 1 in so viele gleiche Theile getheilt, als die größte Funkenlänge einer Maschine Zolle enthält (z. B. in 20 gleiche Theile, wenn die Maschine eine Scheibe von 30″ Durchmesser hat, also im günstigsten Falle 20 Zoll lange Funken geben soll), so gibt, wenn der Hygroelektrometer-Zeiger nicht auf den Punkt der größten Trockenheit, sondern auf einen andern Theilpunkt zeigt, die Maschine, wenn dieser Theilpunkt, von 0 an gezählt, der nte ist, auch nur nahe n Zoll lange Funken (also in unserem Beispiele nur 14″ anstatt 20″ lange Funken), wenn der Zeiger auf den 14ten anstatt auf den 20sten Theilstrich hinweist. Nach Winters Erfahrungen kann man auch stets sicher darauf rechnen, daß jede sonst in gehörigem Stande befindliche Elektrisirmaschine immer gut und ihrem Zwecke ganz entsprechend wirke, wenn der Hygroelektrometer-Zeiger auf den mit $^3/_4$ markirten Theilstrich oder über denselben hinaus, nach der Seite des Punktes der größten Trockenheit hin, steht; im entgegengesetzten Falle kann man sich aber auf das Gelingen der Experimente nicht und zwar desto weniger verlassen, je weiter der Zeiger von dem besagten Theilstriche gegen den Punkt 0 hin entfernt ist. Demnach empfiehlt sich das Hygroelektrometer von selbst und es sollte als einfaches Mittel, die Elektrisirmaschinen auf ihre Leistungsfähigkeit zu prüfen und fruchtloses Experimentiren mit denselben zu ersparen, bei keiner solchen Maschine fehlen.

Fig. 372.



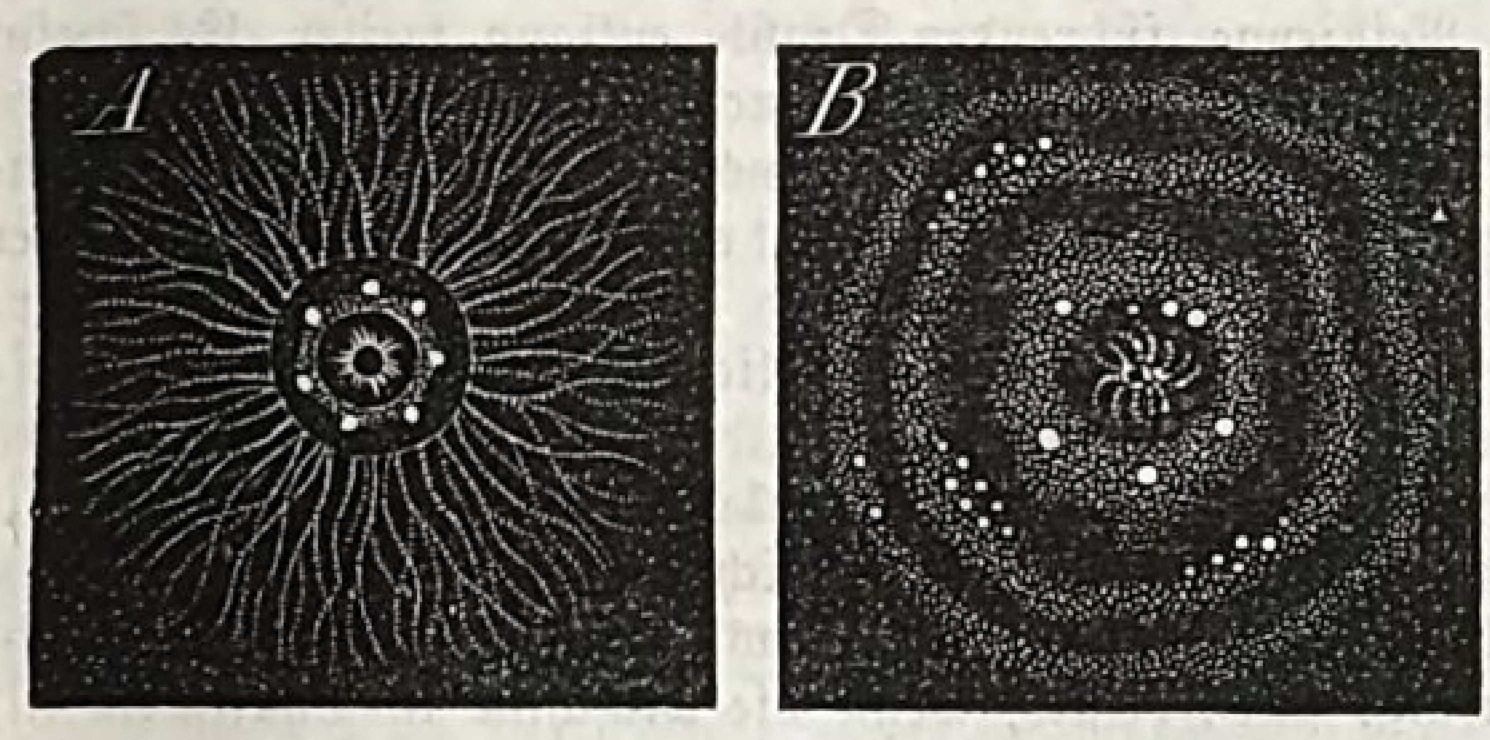
Bezüglich des Ziehens von Funken aus dem Conductor ist noch Folgendes zu bemerken: Erhält man bei feuchtem Wetter, wenn der Funkenzieher dem Knopfe k (Fig. 368) gegenübersteht, aus diesem in der durch das Hydroelektrometer vorgeschriebenen Distanz keinen (knallenden) Funken, sondern einen (zischenden) Strahlenbüschel, so ist der Knopf k allmälig in die Kugel K immer mehr hinein zu schieben und die Kugel c des Funkenziehers dem k zu nähern, bis der Strahlenbüschel verschwindet. Erscheint bei herausgezogenem Knopfe k oft plötzlich ein Strahlenbüschel, so ist k etwas hineinzuschieben. Will man anstatt langer Funken dicke und kräftige, so muß der Funkenzieher anstatt dem Knopfe k, einem andern Punkte der großen Kugel K gegenüber aufgestellt werden. — Ueberzieht man einen Theil des metallenen Conductors mit Gutta Percha, so bekommt man, nach Provenzali, aus dem so überzogenen Theil viel längere Funken, als aus dem unüberzogenen, wahrscheinlich, wie er meint, weil der isolirende Ueberzug die Zerstreuung der E durch die kleinen Rauhheiten des Conductors verhindert.

Daß die Lichtlinie, welche ein langer Funke in der Luft bildet, wie bekannt, nicht gerade, sondern als eine vielmal gebrochene und mit vielen winkelförmigen Ausbeugungen versehene erscheint, rührt daher, daß der Funke in Folge seiner Schnelligkeit die schlecht leitende Luft vor sich verdichtet, und dann den verdichteten Stellen immer ausweichen und seine Richtung verändern muß. — Die Farbe des elektrischen Lichtes ändert sich mit der materiellen Beschaffenheit und der Dichte des Gases, durch das es geht: in atmosphärischer Luft gewöhnlicher Dichte ist es weiß und glänzend, in hinreichend verdünnter Luft hingegen schön blaßroth, wie man

leicht mittelst der Luftpumpe und eines gläsernen Recipienten zeigen kann, welcher zwei einander gegenüberstehende Messingkugeln enthält, indem man nach Verdünnung der Luft in diesem Recipienten die eine Kugel mittelst eines aus dem Recipienten hervorstehenden Drahtes mit dem Conductor der Maschine leitend vereinigt, während die andere (durch den Luftpumpenteller) mit der Erde oder (besser) mit dem Reibzeuge in leitender Verbindung gesetzt ist. Wird am Conductor der Maschine eine Metallspitze angebracht, so sieht man an dieser zu Folge des Ausströmens (126) positiver Elektrizität im Dunkeln einen Lichtbüschel. An einer am zweiten Conductor oder am Reibzeuge angebrachten Spitze erscheint im Dunkeln die ausströmende negative **E** nicht als Büschel, sondern als Stern und zeigt sich auch hiedurch von der + **E** verschieden.

Die Verschiedenheit beider Elektrizitäten gibt sich überdies auch an den sogenannten Lichtenberg'schen Figuren kund, welche leicht erhalten werden, wenn man auf eine Harzfläche (nach Rieß auf ein nur auf der einen oder auf beiden Seiten eine ½ Linie dick mit schwarzem Pech überzogenes Kupferblech) einen Metallring legt, auf diesen von der Elektrisirmaschine Funken überspringen läßt, dann den Ring wegnimmt und den Harzkuchen mit Lycopodium-, feinem Schwefel- oder Mennig-Pulver bestaubt. Je nachdem + E oder — E dem Ringe zugeleitet wurde, bildet das Pulver auf der bestaubten Stelle eine strahlige oder eine strahlenlose Figur der Art, wie man in Figur 373 bei A und B abgebildet sieht. Die Bildung dieser Figuren ist Folge der Einwirkung der elektrischen Stellen des Harzkuchens auf das durch das Beuteln ebenfalls elektrisch gewordene Pulver; wendet man ein Gemenge aus Schwefel- und Mennig-Pulver an, so sammelt sich ersteres auf + elektrischen, letzteres auf — elektrischen Stellen, jene erscheinen daher gelb und diese roth. Mittelst Metallspitzen läßt sich die Farbe des elektrischen Lichtes im luftverdünnten Raume sehr schön zeigen. Wird nämlich eine (etwa 3 bis 4 Fuß lange und zwei Zoll weite) Glasröhre, die an beiden Enden mit metallenen Fassungen versehen ist und von diesen ausgehende, einander zugekehrte (1—2" lange) Metallspitzen enthält, möglichst luftleer gemacht (zu welchem Behufe sie sich mit der einen Fassung, die einen Hahn hat, an der Luftpumpe festschrauben läßt), dann die eine Fassung mit dem Maschinen-Conductor, die andere aber mit der Erde oder mit dem Reibzeuge leitend vereinigt, und die Elektrisirmaschine in Thätigkeit versetzt; so erscheint die ganze Röhre mit elektrischem Lichte erfüllt. — Auf dem Umstande, daß die Elektrizität bei ihrer Fortpflanzung durch einen Leiter nur dort leuchtend (als Funke) erscheint, wo dieser durch die Luft, durch Glas oder eine andere schlecht leitende Substanz unterbrochen ist, beruht die elektrische Illumination. Sind nämlich auf einer Röhre oder Tafel von Glas Staniolstückchen sehr nahe an einander so aufgeklebt, daß ihre Enden sich nicht ganz berühren, und die Unterbrechungsstellen eine gewisse Figur (z. B. auf der Röhre eine Spirale und auf der Tafel einen Buchstaben, Namen oder dgl.) bilden, so erscheint, wenn man von dem Maschinenconductor Funken auf den Anfang der Staniolblättchen-Figur überschlagen läßt, während deren Ende mit der Erde oder dem Reibzeuge in leitender Verbindung steht, diese Figur glänzend beleuchtet.

Fig. 373.



3. Der phosphorartige, von dem gebildeten Ozon (S. 377) herkommende Geruch und die eigenthümliche Empfindung, als wäre man mit dem Gesichte in ein Spinnengewebe gerathen, wird in der Nähe einer im Gange befindlichen Elektrisirmaschine sehr auffallend wahrgenommen. Eben so treten

4. die Erscheinungen der elektrischen Vertheilung, welche in **194** beschrieben wurden, auffallend hervor, wenn das eine Ende des in Fig. 359 abgebildeten Cylinders **AB** dem Conductor angenähert wird.

5. Die Mittheilung der Elektrizität und das verschiedene Leitungsvermögen der Körper für diese werden auf in die Augen springende Weise durch die Erscheinungen nachgewiesen, daß ein auf dem Isolirschämel befindlicher und durch einen Draht mit dem Maschinen-Conductor in Verbindung gesetzter Mensch eben so stark elektrisch wird, wie dieser; daß ein Maschinen-Con-

ductor nur dann Elektrizität zeigt, wenn er allerseits mit Glas, Harz, hinreichend trockener Luft u. dgl. umgeben ist, hingegen bei noch so starkem Drehen der Scheibe ganz unelektrisch bleibt, oder die empfangene **E** schnell verliert, je nachdem er durch Metall mit der Erde vereinigt oder mit feuchter Luft in Berührung ist.

6. Der Gegensatz der beiden Elektrizitäten (ihre Eigenschaft sich wechselseitig zu neutralisiren) wird durch den Umstand dargethan, daß, wenn die beiden isolirten Conductoren einer Maschine unter einander z. B. durch einen Draht leitend vereinigt sind, in keinem derselben, selbst während des lebhaftesten Ganges der Maschine, auch nur eine Spur von **E** wahrgenommen wird. Offenbar findet durch den Draht eine fortwährende Neutralisirung der beiden Elektrizitäten statt, welche am Glase und Reibzeuge entwickelt werden, und welche sich im Falle, wo Conductor und Reibzeug unter einander nicht leitend verbunden, und auch sonst isolirt sind, auf diesen ansammeln.

Die in jedem Augenblicke am Glase frei werdende +E zersetzt nämlich in der nächsten Schichte des Conductors den natürlichen Zustand in + E und — E, verbindet sich mit der — E und neutralisirt sie; die hiedurch frei gewordene + E der besagten Schichte wirkt ganz in gleicher Art zersetzend und neutralisirend auf die angränzende zweite Schichte des Conductors und macht auch in dieser ein +E frei, welches wieder in der nächsten oder dritten Conductorschichte (durch Zersetzung des natürlichen Zustandes und Verbindung mit dem dadurch entstehenden — E) + E hervorruft, und so geht dies successive von Schichte zu Schichte den ganzen Conductor und den mit ihm vereinigten, zum Reibzeuge führenden Drahte entlang weiter. Es scheint demnach, als ob die am Glase entwickelte + E durch den Conductor und den besagten Draht fortströmte, und man heißt deshalb eine solche Fortpflanzung von Trennungen und Verbindungen entgegengesetzter Elektrizitäten einen elektrischen Strom. Da ganz in ähnlicher Art durch die am Reibzeuge (an den Stellen nämlich, wo dieses das Glas berührt) frei werdende — E auch eine Fortpflanzung von Zersetzungen des natürlichen Zustandes und Vereinigungen entgegengesetzter Elektrizitäten in den auf einander folgenden Schichten des Reibzeuges und des dasselbe mit dem Conductor verbindenden Drahtes veranlaßt werden muß, so daß die besagte — E des Reibzeuges von diesem aus zum Conductor hin sich zu bewegen scheint; so sieht man, daß in dem vorausgesetzten Falle (wo der Conductor und das Reibzeug durch einen Draht oder überhaupt durch einen Leiter vereinigt sind) diesen, wenn die Maschine in Thätigkeit ist, gleichzeitig zwei elektrische Ströme durchziehen, ein positiver in der Richtung vom Conductor zum Reibzeuge, und ein negativer in umgekehrter Richtung. In der gegenseitigen Neutralisirung der bei dieser Doppelströmung einander begegnenden, ungleichartigen Elektrizitäten (der + E und — E) liegt der Grund, warum die Maschine von keiner dieser letzteren in obigem Falle auch nur eine Spur zeigt. Daß bei einer im Gange befindlichen Elektrisirmaschine durch jeden Leiter, der den Conductor mit der Erde verbindet, ein positiver, und durch jeden Leiter, der vom Reibzeug zur Erde führt, ein negativer Strom geht, bedarf nun kaum einer Erwähnung.

7. Wärmewirkungen der Elektrizität. Durch den elektrischen Funken kann Aether, Alcohol (zumal im etwas erwärmtem Zustande), Kolophoniumpulver, Knallgas u. s. w. entzündet und eine eben ausgeblasene Kerze wieder angezündet werden. Aether oder Alcohol gießt man zu diesem Ende in ein Metallgefäß und nähert die Flüssigkeitsoberfläche, während das Gefäß mit der Erde oder dem Reibzeuge leitend verbunden ist, dem Conductor oder einem andern mit diesem vereinigten Leiter (z. B. einem Knöchel der geballten Hand einer auf dem Isolirschämel stehenden und mit dem Conductor leitend verbundenen Person). Das Kolophoniumpulver streut man auf etwas Baumwolle oder Werg, welches auf Metall liegt, oder um einen Metallkörper, am besten um eine mit einem Stiele versehene Kugel (von etwa 1″ Durchmesser) gewickelt ist, und läßt dann auf die Kugel, während ihr Stiel mit der Erde oder (besser) mit dem Reibzeuge der Elektrisirmaschine in leitender Verbindung steht, von dem Conductor Funken überspringen.

Auf der Entzündung des Knallgases durch den elektrischen Funken beruht die elektrische Pistole Fig. 374. Sie besteht gewöhnlich aus einem kleinen, mit einem Korkpfropfe b verschließbaren Metallgefäße, etwa wie a, in welches nahe am Boden ein in zwei kleine Kugeln **1**, **2** endigender Draht hineingeht. Damit dieser das Gefäß nirgends leitend berühre, ist er in ein Glasröhrenstückchen c und dieses in der Wand des Gefäßes a mittelst Siegellack eingekittet. Bringt man nun in das Gefäß Knallluft, d. i. ein Gemenge

Fig. 374.



von Sauer- und Wasserstoff (was am einfachsten dadurch bewerkstelligt wird, daß man die atmosphärische Luft im Gefäße a mit Wasserstoff mengt, und zu diesem Behufe dieses über die Mündung einer Flasche hält, aus welcher auf in **169** angegebener Weise erzeugtes Wasserstoffgas aufsteigt) verschließt nachher das Gefäß mit dem Korkpfropfe, und läßt auf die Kugel 1 einen elektrischen Funken überschlagen; so springt dieser von der Kugel 2 auf die derselben gegenüberstehende Gefäßwand durch die Knallluft über, entzündet diese, und der Korkpfropf wird mit heftigem Knalle aus dem Gefäße hinausgetrieben.

8. Physiologische Wirkungen. Springt (z. B. vom Maschinen-Conductor) ein elektrischer Funke auf die Hand oder irgend einen andern Theil des menschlichen Körpers über, oder wird diesem, während er sich (auf dem Isolirschämel) im elektrischen Zustande befindet, mittelst eines angenäherten Leiters ein Funke entzogen; so verursacht dies einen stechenden Schmerz und, je nach der Intensität des Funkens, eine schwächere oder stärkere Erschütterung. — Wird mittelst einer Spitze der Zunge Elektrizität zugeleitet, so nimmt man eine deutliche Geschmacksempfindung wahr: + **E** erzeugt einen säuerlichen und — **E** einen brennenden, alkalischen Geschmack. — Hieher gehört auch der im Vorhergehenden besprochene phosphorähnliche Geruch, und eben so der schwächere oder stärkere Knall, welchen der elektrische Funke beim Durchgange durch Luft oder durch einen andern schlechten Leiter immer erzeugt. — Noch andere Wirkungen der **E** auf den menschlichen oder thierischen Körper, die sogenannten medizinischen Wirkungen nämlich, liegen außer dem Bereiche dieses Buches.

9. Chemische Wirkungen. Nimmt man ein mit Wasser gefülltes Glasrohr, in welches durch die Enden, wasserdicht, zwei gläserne Haarröhrchen, die sehr feine Platindrähte eingeschmolzen enthalten, so hineingehen, daß die inneren, aus den Haarröhrchen kaum merklich hervortretenden zwei Drahtspitzen im Wasser sehr nahe (etwa ½‴—1‴) einander gegenüberstehen, verbindet die außerhalb des Glasrohres befindlichen Drahtenden leitend, das eine mit dem Conductor, das andere mit dem Reibzeuge einer Elektrisirmaschine und setzt dann diese in Gang; so wird das Wasser von der durch dasselbe aus dem einen Draht zu dem andern übergehenden **E** an den Uebergangspunkten in seine Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, zersetzt, die sich daselbst in kleinen Bläschen entwickeln. — Ein anderer, noch leichter ausführbarer und die chemische Wirkung der Reibungselektrizität beweisender Versuch ist folgender. Man lege auf eine Glasplatte zwei Platindrähte, wovon der eine einerseits mit dem Conductor und der andere mit dem Reibzeuge der Elektrisirmaschine in leitender Verbindung steht, verbinde die zwei andern auf der Glasplatte in einiger Entfernung einander gegenüber liegenden Enden dieser Drähte durch eine schmale (mittelst eines Pinsels oder dgl. auf das Glas aufgetragene) Lage einer Auflösung von Kupfervitriol in Wasser, und setze dann die Elektrisirmaschine in Bewegung. Nach wenigen Umdrehungen wird sich in Folge Zersetzung des Kupfervitriols an dem mit dem Reibzeuge verbundenen Drahte metallisches Kupfer ausgeschieden zeigen. Substituirt man der Kupfervitriollösung eine Auflösung von Jodkalium im Wasser, so scheidet sich an dem mit dem Conductor leitend vereinigten Platindrahte Jod ab.

10. Mechanische Wirkungen. Eine solche Wirkung ist das im Vorhergehenden öfter, insbesondere unter 8. erwähnte Durchbrechen des elektrischen Funkens durch die Luft und andere schlechte Leiter. Das hiebei auf dem Wege des Funkens stattfindende zur Seite Geschobenwerden der Theilchen hat bei den letztgenannten schlechten Leitern (Papier, Holz, Glas u. s. w.) nicht selten eine Durchlöcherung, Zersplitterung, Zerspaltung oder dgl. zur Folge. Es lassen sich diese mechanischen Wirkungen mittelst der Elektrisirmaschine aber nur unter Zuhilfenahme anderer in den nächsten Paragraphen zu beschreibender Apparate in eclatanter Weise

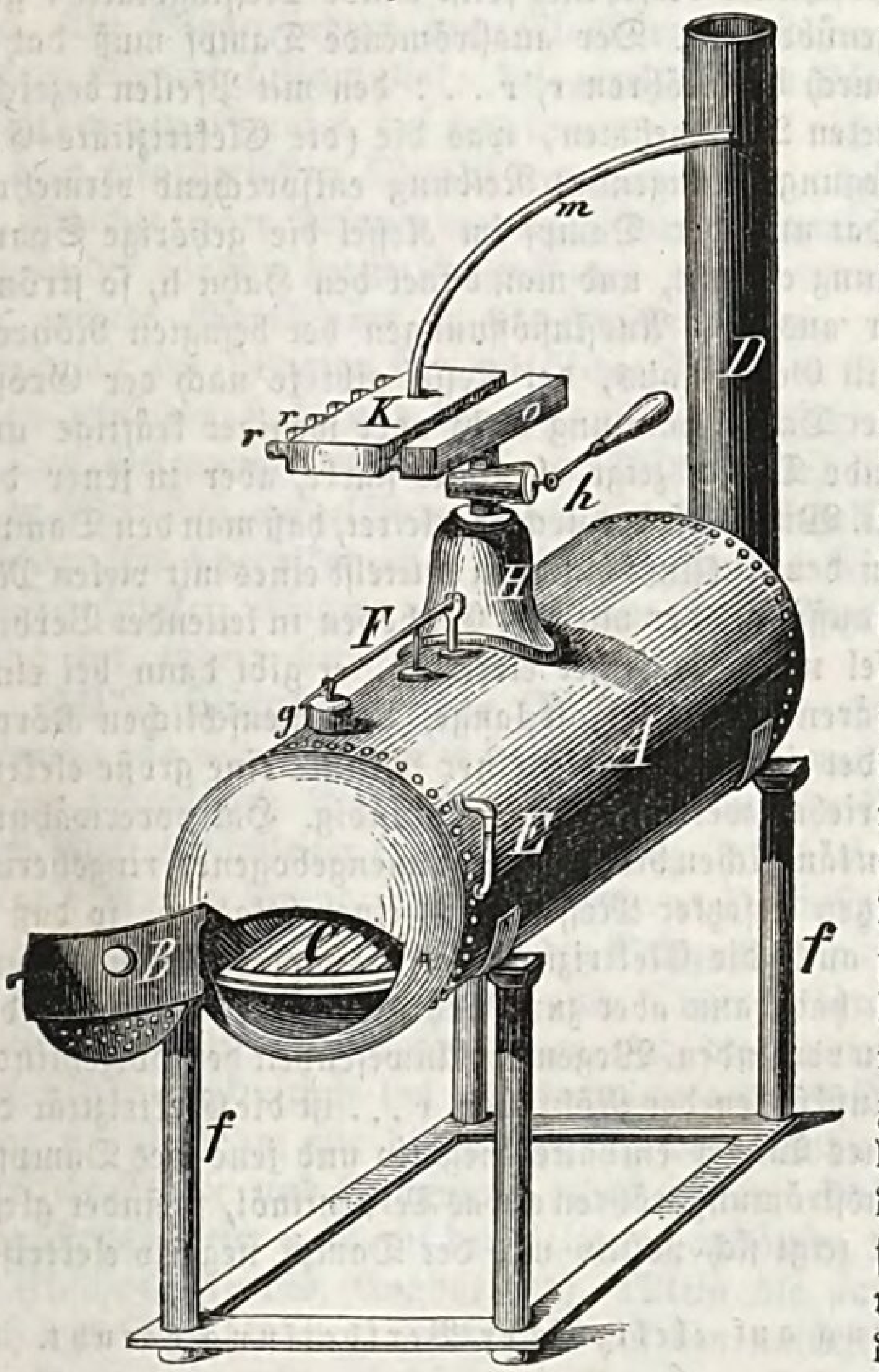
hervorbringen; weswegen wir erst bei diesen Apparaten die besagten mechanischen und ebenso auch noch einige der anderen Wirkungen der Reibungselektrizität noch einmal und näher besprechen wollen.

Folge blos mechanischer Wirkung der Elektrizität sind wahrscheinlich auch Karsten's elektrische Abbildungen. Legt man eine Münze auf eine Tafel aus Spiegelglas, die auf einer mit der Erde in leitender Verbindung stehenden Metallplatte ruht und läßt aus dem Conductor der Maschine Funken (von + oder — E) auf die Münze schlagen, entfernt diese dann (etwa nach **100** Umdrehungen der Scheibe) und behaucht nun die Glastafel, so zeigt sie einen vollständigen Abdruck der Münze im Detail. Am besten ist es, wenn die Funken aus der Münze um den Glastafelrand herum nach der Metallplatte überschlagen. Dieselben Abbildungen werden auch auf Metallplatten erhalten, wenn diese von der Münze, am besten durch Glimmer, getrennt sind. Dem Spiegelglas kann übrigens auch Marmor, Achat, Glanzpapier, Holz, Horn, Harz u. s. w. substituirt werden, und die abzubildenden Gegenstände können auch Medaillen aus verschiedenen Metallen, Stämpel, Petschafte, geschnittene Steine, Papier u. s. w. sein. Diese Abbildungen (Karsten's) sind ganz analog den von Rieß früher entdeckten, elektrischen Hauchbildern und die Ursache derselben liegt höchst wahrscheinlich darin, daß (nach Fizeau) die meisten Körper, mit denen wir operiren, auf ihrer Oberfläche mit einer Schichte einer organischen Substanz bedeckt sind, daß (nach Rieß) die Elektrizität in dieser Schichte eine in Verdünnung oder Verdichtung bestehende Veränderung hervorbringt, und daß die so veränderten Stellen den Wasserdunst in anderer Art condensiren, als die unveränderten, also von diesen sich dann sichtlich unterscheiden. Die von Rieß erfundenen sogenannten elektrolytischen Bilder, — die der Hauptsache nach auf ähnliche Weise wie die obigen erhalten werden, wenn man mit Jodkaliumlösung befeuchtetes, wenig geleimtes Kartenpapier, das mit Fließpapier sorgfältig abgetrocknet worden, noch feucht auf die mit der Erde leitend verbundene Metallplatte, darauf eine dünne Glimmerplatte und auf diese den (abzubildenden) Stämpel legt, — kommen von der Zersetzung des Jodkaliums her und gehören daher zu den chemischen Wirkungen der Maschinen-Elektrizität.

201. Die Hydroelektrisirmaschine. Den Schluß der Abhandlung über die Elektrisirmaschinen mag die Beschreibung der Einrichtung und Wirkung der sogenannten Hydroelektrisirmaschine machen, zu deren Entstehung die im Jahre **1840** in England zu Cramlington (unweit Newcastle) zufällig gemachte Entdeckung kräftiger Elektrizitäts-Aeußerung in dem Kessel einer Dampfmaschine den Grund legte. Als nämlich der Maschinenwärter daselbst mit der einen Hand den Hebel des Sicherheitsventils ergriff, während er zufällig die andere in den Dampf hielt, der aus einem Risse in der Verkittung der Fugen des Ventilsitzes reichlich hervorströmte, sah er vom Hebel einen lebhaften Funken auf die Hand überspringen und empfand zugleich im Arme eine heftige Erschütterung; dasselbe geschah, wenn er statt des Hebels irgend einen Theil des Kessels berührte, die zweite Hand aber dem Dampfe aussetzte. Armstrong, hievon in Kenntniß gesetzt, verfolgte diese Entdeckung; es gelang ihm nicht nur, die nämliche Erscheinung unter ähnlichen Umständen auch an anderen Dampfkesseln hervorzubringen, sondern er fand auch bald, daß wenn der Kessel isolirt ist, dieser und der Dampf, während dem Ausströmen immer entgegengesetzte (der Dampf unter gewöhnlichen Umständen stets positive) Elektrizität zeigen; daß die Elektrizitätserregung dort Statt findet, wo der Dampf eine Reibung erfährt und unter sonst gleichen Verhältnissen mit der Stärke dieser Reibung, mit der Größe der Kesselfläche und mit der Spannung des Dampfes im Kessel wächst, und daß bei Berücksichtigung dieser und anderer günstiger Punkte ein Kessel von etwa 3′ Länge und 1·5′ Durchmesser mehr Elektrizität entwickelt, als die größte Elektrisirmaschine. Faraday's Untersuchungen setzten außer allen Zweifel, daß als die Quelle dieser Elektrizität nicht, wie man anfangs meinte, die Bildung oder die Condensation des Dampfes, sondern einzig und allein die Reibung anzusehen sei, welche die vom Dampfe aus dem Kessel mechanisch mit fortgerissenen oder in ihm durch vorhergegangene Abkühlung erzeugten Wassertheilchen an den Rändern der Ausflußöffnung erfahren . . . . (†). Sie lehrten, daß die Wirkung bei reinem Wasser am stärksten sei, bei Zusatz von Säuren, Salzen 2c. 2c. abnehme oder ganz aufhöre; daß bei Anwesenheit von Oel oder Wachs

im Kessel der Dampf — **E** zeige u. s. f. Dies alles führte endlich zur Construction der Armstrong'schen Hydroelektrisirmaschine und zu jener Einrichtung derselben, welche in Fig. 375, ein in London selbst verfertigtes Exemplar darstellend, anschaulich gemacht ist. **A** ist ein eiserner Dampfkessel von nahe 3′ Länge und 18″ Durchmesser, der auf gläsernen Füßen f, f ruht, die Heizung im Innern hat (das Brennmateriale wird durch die Heizthüre **B** auf den Rost **C** aufgegeben) und an welchem alle, dem Abflusse der Elektrizität günstigen, schärferen Ecken und Kanten möglichst vermieden sind. **D** ist ein vom Heizraume ausgehendes Eisenblechrohr, das als Schornstein dient und sich durch Aufsatzröhren weit genug verlängern läßt, um Rauch und die andern für Elektrizitätsversuche nachtheiligen Verbrennungsprodukte aus dem Lokale, wo experimentirt werden soll, durch ein Fenster o. dgl. wegzuführen. Ist der Kessel zu dem für die beabsichtigten Experimente erforderlichen Grad geheizt, wo dann, um die Ableitung von Elektrizität durch die erwähnten Verbrennungsproducte zu verhindern, alles noch im Brande befindliche Materiale aus dem Heizraume zu entfernen ist, so werden die besagten Aufsatzröhren wieder abgenommen. **E** ist ein Wasserstandsanzeiger (S. 167) und **F** das Sicherheitsventil, bei welchem sich das Gewicht g am Hebel so weit herausrücken läßt, daß es sich erst öffnet, wenn der Dampf im Kessel eine Spannung von 7—8 Atmosphären hat (auf den □ Zoll nahe einen Druck von 90—100 Pfd. übt). **H** ist ein auf dem Kessel festgemachter, mit dessen Dampfraume communicirender, messingener Hut, der oben in ein, mittelst eines Hahnes **h** absperrbares kurzes Rohr (ebenfalls aus Messing) endigt, auf welchem ein System von 6 Dampfausströmungs-Röhren r, r . . . und zwar mit dem alle diese Röhren unter einander verbindenden, weiteren Rohre **o** aus Gußeisen festgeschraubt ist. Die Röhren **r, r . . .** gehen alle wasserdicht durch einen Kasten **K** aus Blech hindurch, der mit kaltem Wasser gefüllt ist, damit der Dampf, bevor er an ihren Enden ausströmt, zum Theil condensirt (in Wasser verwandelt) wird, was nach dem oben unter (†) Angeführten die Elektrizitäts-Erregung bedeutend erhöht. Die den Kasten **K** mit dem Schornstein verbindende Röhre **m** dient den Dämpfen zum Abzuge, welche in **K** durch die, bei der Dampfcondensation sich entbindende und die vom Kessel ausgehende Wärme gebildet werden. Die Ausströmungsröhren **r, r** bestehen übrigens aus Eisen; jede hat aber am Ende einen Kopf aus Messing angeschraubt, der, wie ein durch Fig. 376 in natürlicher Größe dargestellter Durchschnitt zeigt, aus zwei zusammengeschraubten Theilen 1, 2 besteht, und in welchem ein der Länge nach durchbohrter Cylinder **c** aus hartem Holz und unter diesem ein

Fig. 375.



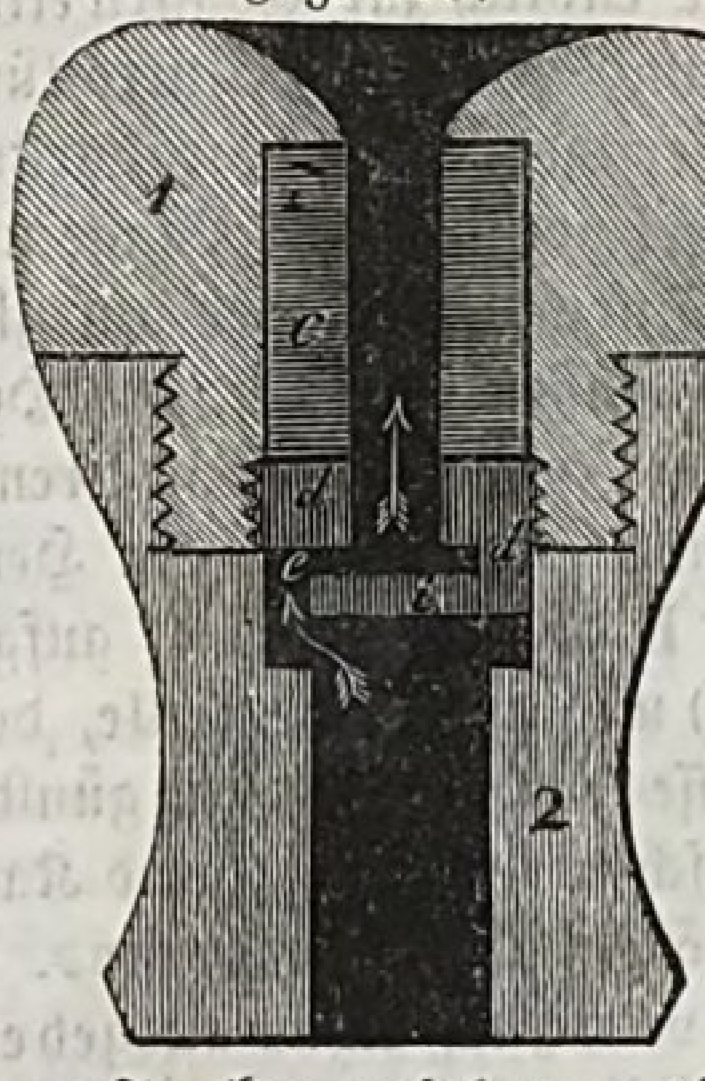


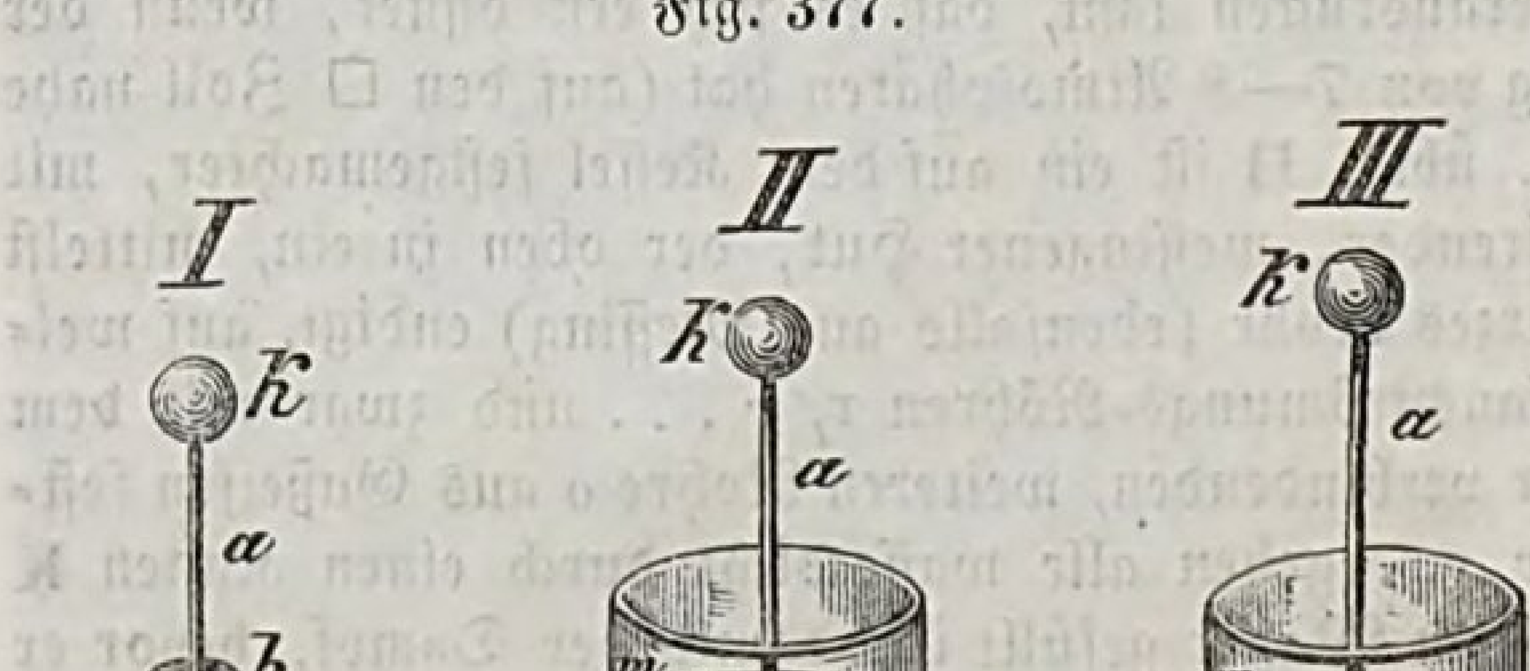
Fig. 376.

gleichfalls in der Mitte durchbohrter und eingeschraubter kleiner Cylinder d aus Messing steckt, der unten bei e von der Seite her so eingefeilt ist, daß seiner Bohrung in einiger Entfernung eine mit einem Abschnitte versehene, sonst runde Messingplatte i gegenübersteht. Der ausströmende Dampf muß daher durch die Röhren r, r . . . den mit Pfeilen bezeichneten Weg nehmen, was die (die Elektrizitäts-Erregung bedingende) Reibung entsprechend vermehrt. Hat nun der Dampf im Kessel die gehörige Spannung erreicht, und man öffnet den Hahn h, so strömt er aus den Ausflußöffnungen der besagten Röhren mit Gewalt aus, der Kessel gibt je nach der Größe der Dampfspannung mehr oder weniger kräftige und lange Funken und der ausströmende Dampf zeigt ebenfalls starke, aber zu jener des Kessels entgegengesetzte Elektrizität. Wird diese dadurch abgeleitet, daß man den Dampfstrom in gehöriger Entfernung von den Ausflußöffnungen mittelst eines mit vielen Metallspitzen versehenen Conductors auffängt, der mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht; so erscheint der Kessel um so kräftiger elektrisch, er gibt dann bei einer Dampfspannung von 6 Atmosphären 10—14 Zoll lange, dem menschlichen Körper sehr empfindliche Funken und ladet in weniger als einer Minute eine große elektrische Batterie (wie sie später beschrieben werden wird) vollständig. Hat vorerwähnter Conductor (am besten ein zu einem länglichen Rechteck zusammengebogener, ringsherum mit nach einwärts gekehrten Spitzen besetzter Messingstab) einen Glasfuß, so daß er sich isoliren läßt; so kann man auch die Elektrizität des Dampfes auffangen und zum Experimentiren verwenden, hat dann aber zum Behufe besserer Wirkung den Kessel mit dem Erdboden leitend zu verbinden. Wegen der Anwesenheit der Holzcylinder als reibende Körper in den Ausflußköpfen der Röhren r, r ... ist die Elektrizität des Kessels, vorausgesetzt, daß er reines Wasser enthalte, negativ und jene des Dampfes positiv; bringt man aber in die Ausströmungsröhren etwas Terpentinöl, so findet gleich das Umgekehrte Statt, der Kessel zeigt sich positiv und der Dampf negativ elektrisch.

Apparate, deren Wirkung auf elektrischer Vertheilung beruht.

202. Die elektrische Flasche, auch **Verstärkungs-Flasche, Leidner Flasche,** oder **Kleist'sche Flasche** genannt. Versieht man die innere und äußere Fläche einer gewöhnlichen Glasflasche (I. Fig. 377), eines hohlen, unten verschlossenen Glascylinders (II. Fig 377) oder eines umgekehrten Glassturzes (III. Fig. 377) mit dünnen Ueberzügen (Belegungen) von Metall, so daß oben an der Mündung ringsherum ein Rand (m) von 1—3 Zoll Breite frei bleibt, und läßt durch die Mündung einen Metalldraht (oder eine dünne Metallröhre) a gehen, der von einem mit Siegellack überzogenen, daher isoliren=

Fig. 377.



den Korkpfropf (b) oder von einer Scheibe s aus Kork, Pappendeckel o. dgl. aufrecht erhalten wird, am obern Ende eine Metallkugel (Knopf) k trägt und unten etwa durch eine metallene Scheibe (c) oder eine angehängte, auf dem Boden des Glases sich ausbreitende Kette (d) mit der inneren Belegung an mehreren Stellen in Berührung steht; so hat man die sogenannte elektrische Flasche. Bei Glascylindern und Glasstürzen bestehen beide Belegungen aus aufgeklebtem Staniol (Zinnfolie); bei gewöhnlichen Flaschen, wo der enge Hals das Aufkleben von Staniol auf der inneren Fläche nicht gestattet, wird diese dadurch mit dem erforderlichen Metallüberzuge versehen, daß man sie zuerst mit einer dünnen Schichte einer Lösung von arabischem Gummi überzieht (indem man die Lösung in der Flasche herumschwenkt und nachher wieder ausgießt), dann Messing- oder andere Metallspäne in die Flasche bringt, darin so lange herumschüttelt, bis sie mit der besagten Gummischichte überall in Berührung gekommen und daran kleben geblieben sind, und den Ueberschuß nachher aus der Flasche entfernt. Die von den Belegungen frei belassenen Ränder (m) sind gewöhnlich mit Firniß oder mit in Weingeist aufgelöstem Siegellack oder Schellack überstrichen, weil sich sonst in Folge der hygroskopischen Beschaffenheit des Glases auf diese Ränder aus der Luft Feuchtigkeit ablagern und diese eine nachtheilige Leitung der **E** von einer Belegung zur andern herstellen würde.

203. Wirkung der Flasche. Setzt man die eine, z. B. die innere Belegung (sie möge der Kürze halber **A** heißen), mit dem Conductor einer in Wirksamkeit befindlichen Elektrisirmaschine, die andere Belegung **B** aber mit der Erde durch Elektrizitätsleiter in Verbindung (z. B. indem man den Knopf k an den Conductor bringt, während man die Flasche an der äußeren Belegung (**B**) in der Hand hält); so geht vom Conductor auf die Belegung **A** positive **E** über und breitet sich auf der ganzen Belegung gleichmäßig aus. Dieser Uebergang dauert so lange fort, bis die Repulsivkraft der übergegangenen und die Spannkraft der auf dem Conductor angehäuften Elektrizität ins Gleichgewicht getreten sind, und es sollte die Belegung **A**, da sie gleichsam nur die Fortsetzung des Conductors bildet, eine ganz gleiche elektrische Dichte und Spannung erhalten, wie dieser (es sollte sich eine eben so große Menge freier + **E** auf der Belegung anhäufen, als auf jedem mit **A** gleich großen Flächenstücke des Conductors). Allein die auf **A** übergegangene + **E** wirkt durch das Glas hindurch vertheilend auf den natürlichen Zustand der zweiten Belegung **B** ein und ruft auf dieser + **E** und — **E** hervor ... (†). Die + **E** hievon wird von der auf **A** angehäuften + **E** abgestoßen und fließt durch den die Belegung **B** mit der Erde verbindenden Leiter in diese ab; die auf **B** hervorgerufene — **E** hingegen wirkt anziehend auf die + **E** der Belegung **A** und bindet diese **E**, so daß sie fast ihre ganze Repulsivkraft*) gegen die + **E** des Conductors verliert, daher das oben erwähnte Gleichgewicht nicht mehr fortbestehen kann und eine neue Menge + **E** vom Conductor auf die Belegung **A** übergehen muß. Es befindet sich dann auf dieser Belegung schon mehr + **E** angehäuft als auf jedem mit **A** gleich großen Flächenstücke des Conductors. Da die neue auf **A** übergegangene Menge + **E** auch wieder durch — **E** gebunden wird, die sie durch Vertheilung auf der Belegung **B** ganz in der vorher auseinander gesetzten Weise hervorruft; so kann vom Conductor abermals + **E** auf die Belegung **A** übergehen u. s. f. Es wird daher auf dieser Belegung nach und nach immer mehr + **E** und auf der Belegung **B** in gleichem Verhält-

*) Obgleich die Entfernung der beiden Belegungen sehr gering ist, so ist doch die gegenseitige Bindung ihrer Elektrizitäten keine vollständige; es muß, damit die E der einen Belegung völlig gebunden werde, auf der andern Belegung ein Ueberschuß freier E vorhanden sein, dessen Größe unter sonst gleichen Umständen von der Entfernung der beiden Belegungen von einander (von der Dicke des Glases der Flasche) abhängt und desto weniger beträgt, je geringer diese Entfernung ist.

nisse immer mehr — E angehäuft (die beiden Elektrizitäten werden immer mehr verdichtet), die Flasche wird, wie man sich auszudrücken pflegt, immer mehr geladen *). Diese Anhäufung (Ladung) erreicht aber eine Grenze, und zwar sobald die Spannung der auf A angesammelten freien E der am Conductor erzielbaren Spannung gleich geworden ist, was einmal eintreten muß, weil nach Anmerkung *) S. 409 von jeder aus dem Conductor auf A allmälig übergegangenen Menge von + E ein wenn auch nur sehr kleiner Theil frei bleibt, mithin die Menge freier + E auf A und daher die daselbst sich äußernde Gesammtspannung mit der vom Conductor dahin übergegangenen Elektrizität wächst. Demnach ist die Leidner Flasche wirklich eine Verstärkungsflasche und die Stärke ihrer möglichen Ladung hängt von der Größe ihrer Belegungen, von der Dicke des Glases und von der (die Stärke der am Conductor erzielbaren Spannung vorzüglich bedingenden) Kraft der Elektrisirmaschine ab.

Entladung der Flasche. Verbindet man die äußere Belegung und den Knopf oder Draht der Flasche irgendwo durch einen guten Leiter mit einander, so vereinigen sich in dem Augenblicke, wo diese Verbindung hergestellt wird, die an der inneren und äußeren Glasfläche haftenden entgegengesetzten Elektrizitäten durch den Leiter hindurch; es geht durch diesen daher ein elektrischer Strom von einer der Ladungsstärke der Flasche entsprechenden und mit ihr wachsenden Intensität und die Flasche findet sich dann entladen (im unelektrischen Zustande). Stehen der Entladung gleichzeitig mehrere Wege durch verschiedene Leiter offen; so vertheilt sich der elektrische Strom in selbe nach Verhältniß ihrer Leitungsgüte. Wird von einem, mit der äußeren Belegung der geladenen Flasche in Berührung gebrachten Leiter ein abgerundeter oder am besten eine Metallkugel tragender Theil (er heiße der Kürze halber m) dem Flaschenknopfe k allmälig angenähert; so erscheint bei einem gewissen Abstande von m und k (in der Schlagweite) zwischen beiden ein Funke, indem die entgegengesetzten Elektrizitäten der zwei Glasflächen bis auf einen kleinen Rückstand durch die zwischen m und k befindliche Luftschichte zu einander übergehen. Der bei diesem Uebergange, dem sogenannten Entladungsschlage, erscheinende Funke ist natürlich weit stärker, als der des Conductors, daher auch von einem stärkeren Schalle (Knalle) begleitet, und die Flasche ist dann zum größten Theil entladen. Das Wenige, was von der Ladung noch zurückgeblieben ist, verschwindet allmälig bei weiterer Annäherung des Leiters bis zur Berührung des Knopfes. Die Größe des Abstandes, bei welchem die erste (unvollständige) Entladung erfolgt, d. i. die Größe der Schlagweite, ist den Dichten der an den Glasflächen der Flasche angehäuften Elektrizitäten proportional (offenbar können diese Elektrizitäten im Streben nach Vereinigung einen desto größeren Widerstand überwinden, eine desto dickere Luftschichte durchbrechen, eine je größere Dichte und also auch Spannung sie haben).

Man kann die Flasche auch allmälig dadurch entladen, daß man durch abwechselndes Berühren der einen und der andern Belegung mittelst eines Leiters diesen Belegungen immer den kleinen Ueberschuß an freier Elektrizität entzieht, welchen die eine Belegung (nach Anmerkung *) auf S. 409) in Bezug auf die andere besitzt und welcher (Ueberschuß) sich dadurch anschaulich machen läßt, daß man sowohl dem Knopfe, also der innern Belegung der Flasche,

---

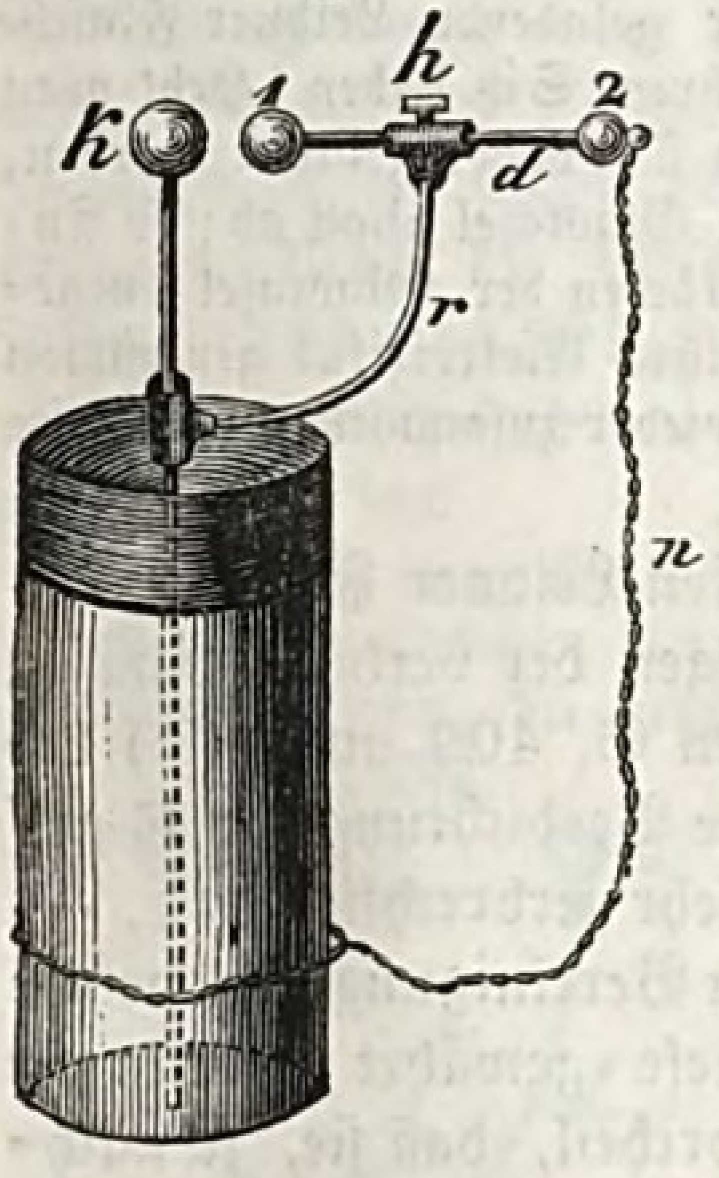
*) Ist die Flasche isolirt, so daß die auf der äußeren Belegung durch Vertheilung hervorgerufene + E nicht abfließen kann; so wird diese (durch gleichzeitige Anziehung gegen die an der äußeren Belegung ebenfalls hervorgerufene — E) die bindende Wirkung der letzteren gegen das vom Maschinen-Conductor übergegangene + E der inneren Belegung hemmen und die oben dargethane stets wachsende Anhäufung von Elektrizität in der Flasche wird nicht stattfinden können. Daß die Ladung einer Leidner Flasche, wenn die äußere Belegung mit dem Conductor der Elektrisirmaschine und die innere mit der Erde leitend verbunden wird, im entgegengesetzten Sinne d. i. so erfolgen müsse, daß die erstere Belegung mit + E und letztere mit — E sich geladen zeigt, erhellt bei Anpassung des oben für den umgekehrten Fall angestellten Raisonnements auf die eben erwähnten von selbst.

als auch ihrer äußeren ein an einem Seidenfaden frei herabhängendes Hollundermarkkügelchen annähert. Dort, wo freie E vorhanden ist, wird das Kügelchen abgestoßen, während das zweite Kügelchen sich mit der anderen Belegung in Berührung bringen läßt und an derselben verbleibt. Leitet man nachher, z. B. mittelst des Fingers, diese freie E ab; so hört die Abstoßung bei dem ersteren Kügelchen auf, tritt aber zugleich bei dem letzteren ein, und man kann so durch abwechselndes Berühren des Knopfes und der äußeren Belegung mit dem Finger die Abstoßung abwechselnd des einen und des anderen Kügelchens bewirken.

Die auf beiden Belegungen angesammelten entgegengesetzten Elektrizitäten dringen zu Folge gegenseitiger Anziehung beiderseits bis zu einer gewissen (von ihrer Dichte abhängigen) Tiefe in die Masse des Glases ein, und hat dieses eine zu geringe Dicke, um der besagten Anziehung hinreichenden Widerstand zu leisten, so vereinigen sie sich durch dasselbe hindurch: die Flasche wird dabei durchlöchert und ist dann gleichfalls entladen. Die Entladung der Flasche findet auch durch Vereinigung ihrer entgegengesetzten Elektrizitäten über den von den Belegungen frei belassenen Rand hin statt, wenn dieser zu schmal ist. Es gehört daher, damit einer Leidner Flasche das der Größe ihrer Belegungen und der Kraft der angewendeten Elektrisirmaschine entsprechende Maximum der Ladung ertheilt werden könne, eine hinreichende Dicke des Glases und eine hinlängliche Breite des die Belegungen trennenden Randes dazu.

204. Lane's Flasche. Aus vorstehender Betrachtung ergibt sich der Nutzen der Lane'schen Flasche (Fig. 378). Sie besteht in ihrer einfachsten Einrichtung aus einer gewöhnlichen Leidner Flasche, bei welcher an dem Drahte des Knopfes eine krumme Glasröhre r befestigt ist, deren oberes Ende eine Hülse h trägt, worin sich ein anderer, beiderseits mit Knöpfen 1, 2 versehener Draht d horizontal verschieben und mittelst eines Schräubchens feststellen läßt. Verbindet man die äußere Belegung, z. B. mittelst einer Kette n (die man einerseits um die Flasche schlingt, oder auf deren Ende man letztere stellt o. dgl.) mit dem Drahte d und ladet hernach die Flasche durch ihren Knopf k; so wird diese sich dann von selbst entladen, wenn die Spannung der an ihren Flächen angehäuften Elektrizitäten so weit angewachsen ist, daß diese die Luftschichte zu durchbrechen vermögen, welche die Knöpfe k und 1 von einander trennt. Man wird daher bei dieser Selbstentladung einen durch die Kette und jeden in ihr oder überhaupt zwischen die äußere Flaschenbelegung und den Knopf 2 eingeschalteten Leiter gehenden, desto kräftigeren Strom erhalten, je größer der Abstand des Knopfes 1 von k ist. Andererseits kann man aus der Größe des Abstandes der Knöpfe k und 1, bei welchem die Flasche sich selbst entladet, die Stärke der Ladung beurtheilen, indem die Schlagweite einer Flasche den Dichten der darin angehäuften Elektrizitäten proportional ist.

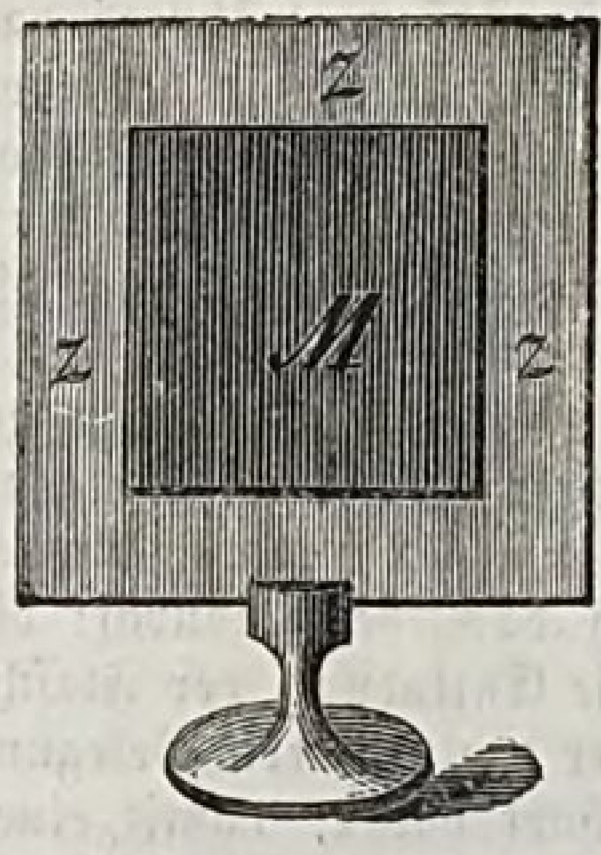
Fig. 378.



Mit Hilfe der Leidner Flasche lassen sich wegen der beträchtlichen Elektrizitäts-Verstärkung, die sie gestattet, viele der in **200** angeführten Erscheinungen und Wirkungen der Elektrizität weit kräftiger und in die Augen springender darthun, als mittelst der Elektrisirmaschine allein, und andere, im Nachfolgenden angedeutete Elektrizitäts-Wirkungen können nur unter Anwendung hinlänglich großer Leidner Flaschen hervorgebracht werden.

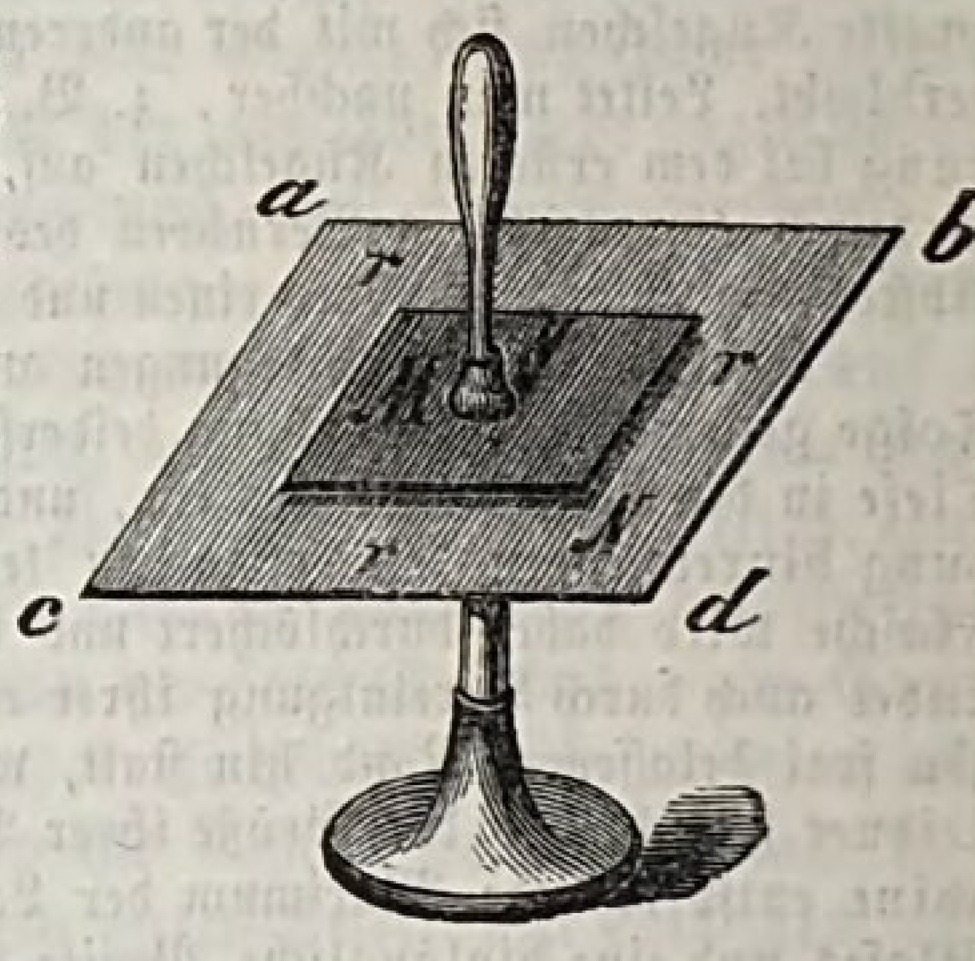
Franklin's Tafel. Offenbar trägt es zum Wesen der bei der Leidner Flasche beschriebenen Elektrizitäts-Erscheinungen nicht im geringsten bei, daß die Glasmasse, welche die beiden Metallbelegungen von einander trennt und isolirt, die Flaschen- oder Cylinderform besitzt, und es wird eine Vorrichtung — die aus einer ebenen, etwa viereckigen Glastafel (Figur 379) besteht, deren beide Flächen bis auf einen ringsherum gehenden, 2—3 Zoll breiten Rand z mit Zinnfolien M, N belegt sind, und welche Vorrichtung eine Franklin'sche Tafel heißt, — ganz die Erscheinungen und Wirkungen einer Leidner Flasche zeigen, nachdem man die eine Belegung z. B. mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine und die zweite (N, die in der Figur nicht sichtbar ist) mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt hat. M wird dann positive, N negative Elektrizität angesammelt enthalten, durch Verbindung von N mit M mittelst

Fig. 379.



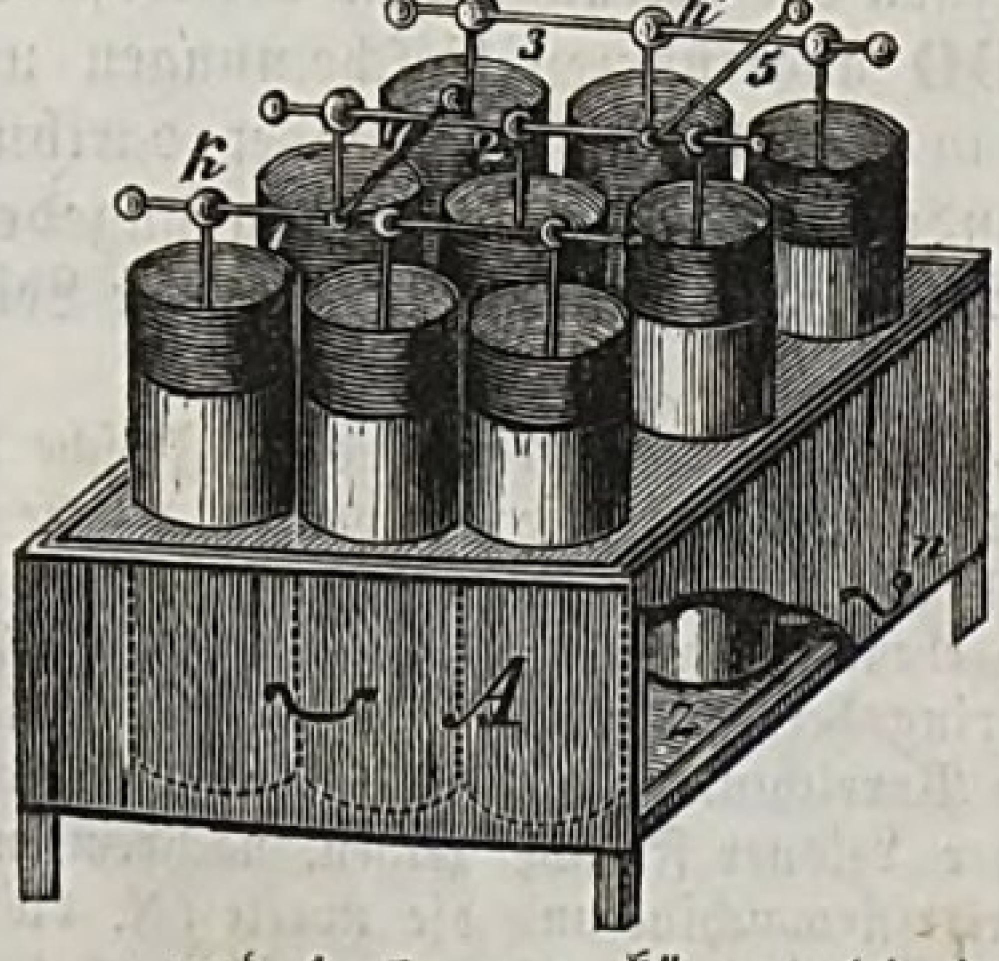
eines guten Leiters wird die Tafel entladen; diese Entladung erfolgt (ganz wie bei der *Lane*'schen Flasche) nach hinlänglicher Steigerung der Ladung auch von selbst, wenn der von der einen Belegung ausgehende Leiter (L) mit seinem zweiten, abgerundeten Ende (e) von der andern Belegung um die Schlagweite absteht u. s. w. . . . (1). Mittelst einer *Franklin*'schen Tafel, bei welcher anstatt aufgeklebter Zinnfolien zwei dickere, gleich große und vom Glase trennbare Metallplatten die Belegungen bilden und welche in bequemster Gestalt dadurch erhalten wird, daß man (Figur 380) der einen Metallplatte N mittelst eines gläsernen Trägers eine horizontale Lage gibt, auf sie die Glastafel abcd und auf diese die, mit einem isolirenden Griffe versehene zweite Metallplatte M legt, läßt sich leicht die vorn S. 411 ausgesprochene Behauptung nachweisen, daß die Elektrizitäten einer geladenen Leidner Flasche ins Glas eindringen und daran haften, also zum Theil im Glase ihren Sitz haben. Hebt man nämlich bei der eben beschriebenen *Franklin*'schen Tafel, nachdem sie vorher geladen worden, mittelst des Griffes die Platte M und nachher von der Platte N die Glastafel abcd ab; so findet man nicht nur die zwei Metallplatten, sondern auch die beiden Flächen der Glastafel entgegengesetzt elektrisch, und setzt man, nachdem den Platten N und M ihre Elektrizität genommen worden, die *Franklin*'sche Tafel in der vorher bestandenen Art wieder zusammen, so zeigt sie sich abermals geladen.

Fig. 380.



205. Elektrische Batterie. Anstatt sehr großen Leidner Flaschen, — wie sie zu vielen Zwecken erfordert werden, und welche wegen der verhältnißmäßig geringen Dicke, die das Glas (damit durch dasselbe die oben S. 409 unter (†) beschriebene Vertheilung gehörig vor sich gehen und eine starke Verdichtung der **E** auf beiden Flächen bewirkt werden könne) immer haben muß, sehr zerbrechlich sind, — wendet man gewöhnlich mehrere kleinere Leidner Flaschen in Vereinigung an, welche dann eine sogenannte *elektrische Batterie* bilden. Diese gewährt, wenn sie hinreichend *viele* kleinere Flaschen enthält, zugleich den Vortheil, daß sie, je nachdem mehrere oder wenigere der (übrigens auch einzeln anwendbaren) Flaschen unter einander vereinigt werden, die Stelle sehr verschieden großer Leidner Flaschen vertritt. Es wird die besagte Vereinigung dadurch am leichtesten möglich gemacht, daß man die zur Batterie bestimmte Anzahl (z. B. von neun oder zwölf u. s. f.) Flaschen, wie dies die Fig. 381 zeigt, reihenweise (zu dreien oder vieren u. s. w.) nebeneinander in einen hölzernen Kasten **A** stellt, dessen Boden innerlich in seiner ganzen Ausdehnung mit Zinnfolie (z) überzogen ist, die Knöpfe k der Flaschen jeder Reihe mit einander durch runde an den Enden mit abschraubbaren Kugeln versehene Metallstäbe 1, 2, 3... leitend verbindet und an diesen Stäben ähnliche Stäbe 4, 5.... anbringt, mittelst welcher sich wieder die Stäbe 1, 2, 3 . . . leitend verbinden lassen. Durch die Zinnfolie (z) stehen nun die äußeren Belegungen aller Flaschen in leitender Verbindung, und mittelst der Stäbe 1, 2, 3 . . . . und 4, 5 . . . . können die inneren Belegungen von 2 oder 3 oder 4 u. s. w. oder aller Flaschen unter einander leitend verbunden (zu *einer* Belegung vereinigt)

Fig. 381.

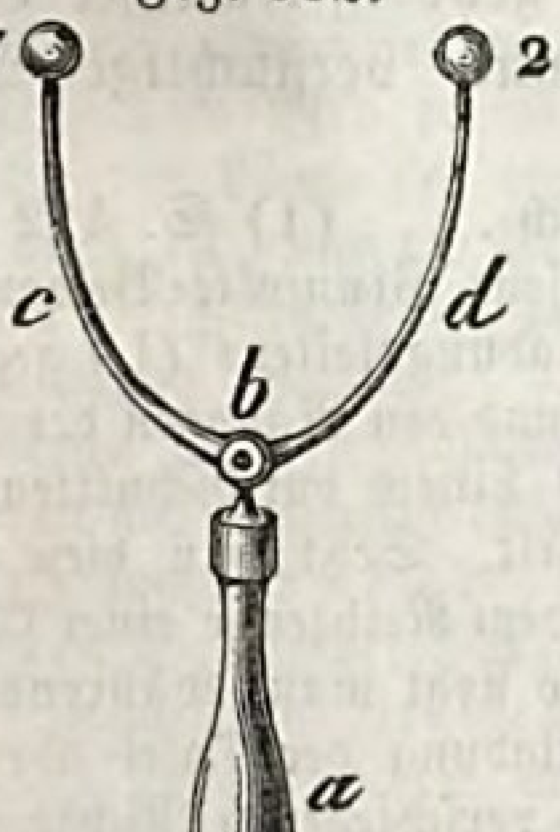


werden. Man erhält so gleichsam Flaschen, deren Belegungen den Summen der Belegungen zweier, dreier u. s. w. oder aller einzelnen Flaschen gleich sind und hat, um sie zu laden, nur einen der Knöpfe oder Drähte der auf die angegebene Weise vereinigten 2 oder 3 oder 4 u. s. w. Flaschen durch einen Leiter mit dem Conductor der Elektrisirmaschine zu verbinden, die betreffende äußere Belegung aber dadurch mit der Erde in leitende Verbindung zu setzen, daß man an dem aus dem Kasten **A** hervorstehenden, in einen Knopf endigenden und innerlich die Zinnfolie **z** berührenden, hakenförmigen Draht **n** eine auf den Fußboden hinabreichende Schnur oder Kette aus Metall anbringt. Zum Behufe des Entladens der Batterie hat man nach Aufhebung ihrer Verbindung mit der Elektrisirmaschine nur den Draht **n** mit einem der Knöpfe oder Drähte der vereinigten Flaschen durch einen passenden Leiter zu verbinden.

Die Schlagweite einer Batterie ist, wie Rieß neuerlich wieder nachgewiesen hat, der Dichte der angehäuften **E** proportional, ist aber ebenfalls seinen Versuchen gemäß nicht, wie man früher glaubte, von der Natur des Entladungs- (Schließungs-) Leiters abhängig, sondern diese hat, vorausgesetzt daß die Flächen, zwischen welchen die Entladung stattfindet, unverändert bleiben, gar keinen Einfluß. Wenn die Entladung durch einen längeren Metalldraht geschieht, so kann der durch diesen Schließungsleiter (Schließungsbogen) gehende Strom durch Wirkung in die Ferne in einer in der Nähe befindlichen geschlossenen Drahtleitung einen anderen Strom erregen. Ueber die Beschaffenheit und Wirkungen dieses Nebenstroms, der im Jahre 1839 von Rieß unzweifelhaft dargethan wurde, kann das Nähere, gehörig verständlich und am kürzesten erst später an einem andern Orte des Buches mitgetheilt werden . . . . (128)

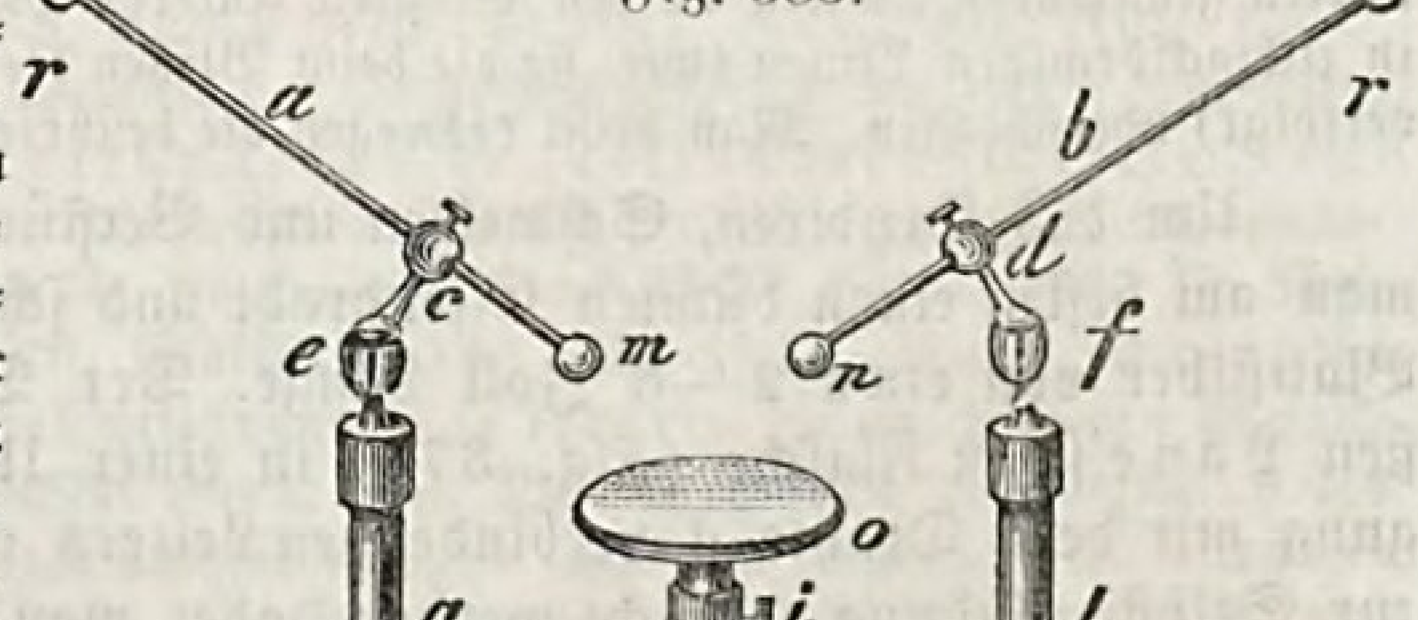
Auslader. Bei der Entladung einer Batterie, so wie einer einzelnen Leidner Flasche leisten die sogenannten Auslader sehr gute Dienste; wir wollen deswegen gleich hier Veranlassung nehmen, die gebräuchlichsten derselben zu beschreiben. Der in Fig. 382 abgebildete

Fig. 382.



Auslader oder Entlader besteht aus einem gläsernen Griff a, an welchem zwei in einem Charnier b bewegliche, an den Enden mit Kugeln 1, 2 versehene (am besten) gekrümmte Messingstäbe c, d festgemacht sind. Um mit diesem Apparate z. B. eine Leidner Flasche zu entladen, faßt man ihn beim isolirenden Griffe a, berührt mit einer der Kugeln 1, 2 die äußere Belegung und mit der andern den Knopf oder den ihn tragenden Draht der Leidner Flasche, nachdem man vorher durch entsprechendes Oeffnen der beiden Arme den Kugeln 1, 2 den gehörigen Abstand von einander gegeben hat. Andere Anwendungen dieses Entladers werden sich im Nachfolgenden gelegentlich ergeben. Durch besondere Bequemlichkeit bei vielen Versuchen empfiehlt sich der durch Fig. 383 anschaulich gemachte Henley'sche allgemeine Auslader. a, b sind runde, in den Kugeln c, d mit Reibung verschiebbare und darin mittelst Schräubchen feststellbare Messingstäbe. Die Träger der Kugeln c, d lassen sich mittelst Charnieren oder Kugelgelenken bei e, f in Vertikalebenen oder nach allen Richtungen bewegen, so daß man den Stäben a, b jede beliebige Neigung und den an ihren Enden befindlichen Knöpfen m, n sehr verschiedene Stellungen und Abstände geben kann. Diese Knöpfe lassen sich abschrauben, so daß die Drähte a, b dann an diesen Stellen in Spitzen endigen. g, h sind Säulen aus massivem Glase, welche die Stäbe a,

Fig. 383.



b isoliren, und o ist ein oben mit Glas bedecktes oder auf sonst eine andere Art isolirend gemachtes Tischchen, das sich in dem Fuße k mittelst der Schraube i in verschiedener Höhe feststellen läßt. Derjenige Gegenstand, durch welchen hindurch die Entladung einer Leidner Flasche oder einer elektrischen Batterie gehen soll, wird zwischen die Knöpfe m, n hinein und mit denselben in Berührung gebracht, wobei in vielen Fällen das Tischchen o als Unterlage oder Träger des betreffenden Gegenstandes dient; hierauf setzt man einen der Stäbe a, b an dem Ende r (etwa durch eine Kette oder Metallschnur) mit der äußern Belegung und dann den zweiten Stab, ebenfalls bei r, wieder mittelst einer Kette, einer Metallschnur oder (am besten) mittelst des vorher beschriebenen Ausladers (Fig. 382) mit der inneren Belegung der betreffenden Leidner Flasche oder elektrischen Batterie in Verbindung.

206. Phänomene und Wirkungen, die sich durch eine stark geladene Leidner Flasche oder Batterie hervorbringen lassen.

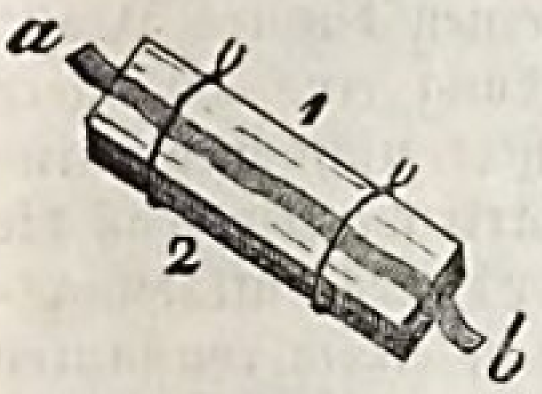
1. Physiologische Wirkung. Leitet man die Entladung einer nur mäßig großen Leidner Flasche durch den menschlichen Körper, z. B. indem man mit der einen Hand die äußere Belegung anfaßt und hierauf mit einem Knöchel der (zur Faust geballten) andern Hand den Knopf berührt; so fühlt man in den Armgelenken (bei stärkeren Entladungen selbst in der Brust) eine heftige Erschütterung, einen elektrischen Schlag. Ein solcher Schlag wird von einer großen Zahl Personen auf einmal empfunden, wenn sie sich einander die bloßen Hände geben und von den äußersten Personen der so gebildeten Kette die eine die äußere Belegung anfaßt und die zweite hierauf den Knopf der Flasche berührt. Sehr starke Entladungsschläge verursachen Lähmung und Blutspeien und können für Menschen, ja selbst für große starke Thiere sogar tödtlich sein.

2. Licht- und Wärme-Erscheinungen. Kräftige Leidner Flaschen und Batterien geben bei der Entladung ausnehmend große und glänzende Funken, durch welche sich die Entzündung der auf S. 404 angeführten und noch anderer schwerer entzündlicher Substanzen leicht und eclatant bewerkstelligen läßt. Leitet man die Entladung über Zucker, Kreide, Schwerspath oder andere leicht phosphoreszirende Körper, so leuchten sie dann im Dunkeln; ein gehörig kräftiger Entladungsschlag entzündet Schießpulver, oxydirt, schmilzt und verflüchtigt Metalle u. s. w.

Sehr artig ist die blitzähnliche Licht-Erscheinung, die eine nach .... (1) S. 412 zur Selbstentladung vorgerichtete Franklin'sche Tafel zeigt, woran jene Zinnfolie-Belegung, welcher das am angeführten Orte mit (e) bezeichnete Ende des Entladungsleiters (L) gegenübersteht, durch sehr viele (gewöhnlich nach auf einander senkrechten und den Rändern der Belegung parallelen Richtungen geführte) Schnitte so bis auf das Glas hinein durchschnitten ist, daß sie nach allen Seiten hin zahlreiche Unterbrechungsstellen enthält. Setzt man diese zerschnittene Belegung mit dem Conductor und die andere Belegung mit dem Reibzeuge einer Elektrisirmaschine oder auch nur mit der Erde in leitende Verbindung, so sieht man, während die Tafel sich ladet, die E in schwächeren, bei jeder erfolgenden Selbstentladung der Tafel aber in starken glänzenden Funken an den besagten Unterbrechungsstellen nach verschiedenen Richtungen in zickzackförmigen Linien (wie sie die beim Blitzen die Atmosphäre durchbrechende Elektrizität verfolgt) überschlagen. Man heißt deswegen die beschriebene Vorrichtung eine Blitztafel.

Um das Oxydiren, Schmelzen und Verflüchtigen der Metalle zu zeigen, wählt man am besten einen dünnen Eisendraht und schmale Streifen aus Blattgold oder Blattsilber von etwa 2—6 Zoll Länge. Der Draht kann entweder an einer großen Lane'schen Flasche (Fig. 378) in einer Unterbrechung des die äußere Belegung mit dem Drahte d verbindenden Leiters n eingeschaltet und die Flasche dann zur Selbstentladung gebracht werden, oder man kann seine Enden um die mit Knöpfen m, n versehenen Enden des Henley'schen Ausladers (Fig. 383) fest herumwickeln, und durch diesen eine gewöhnliche kräftige Leidner Flasche oder eine Batterie entladen. Er kommt in lebhaftes Glühen und zerfällt dann in geschmolzene, weithin auseinander fahrende Kügelchen; bei schwächeren Entladungsschlägen erwärmt er sich blos. Den Streifen aus Blattgold oder Blattsilber klemme man zwischen zwei mit Seide oder Draht zusammengebundene Glasplatten (1, 2 Fig. 384) ein, lege

Fig. 384.



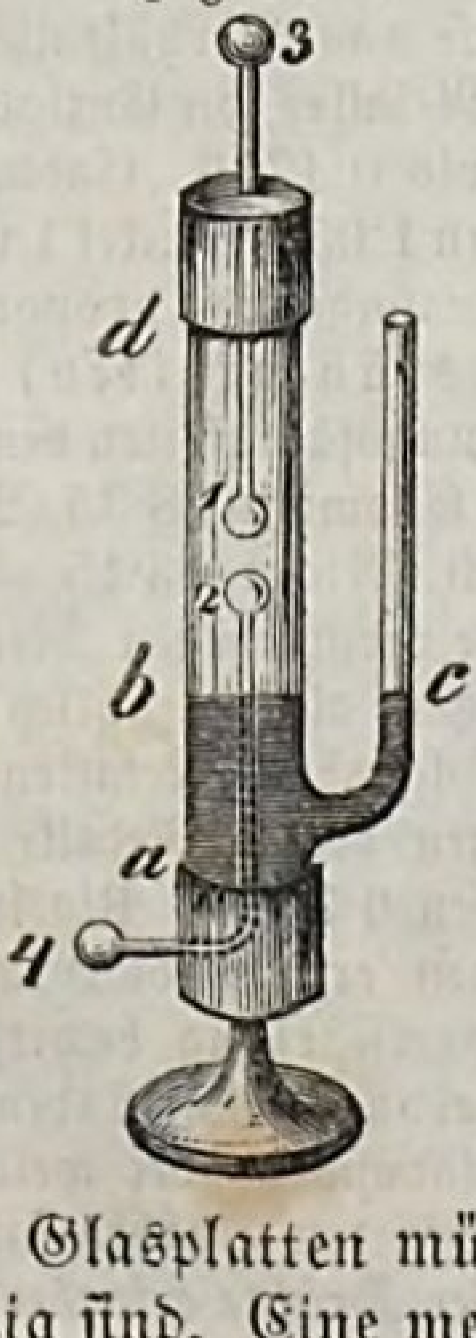
diese dann auf den Tisch o des Ausladers (Fig. 383), bringe die Knöpfe m, n des letzteren mit den über die Glasplatten etwas hervorstehenden Enden a, b des Goldstreifens in Berührung und entlade nun durch den Auslader die betreffende Leidner Flasche oder Batterie, wo sich dann das Gold oxydirt und in das Glas eingeschmolzen zeigt. Um Schießpulver zu entzünden, streue man dasselbe auf das Tischchen o des Henley'sche Ausladers zwischen die einander hinreichend nahe gestellten Enden der Drähte a, b und entlade mittelst dieses Ausladers eine kräftige Flasche oder eine Batterie, nachdem, um den Strom zu verlangsamen, in der Leitung zwischen Auslader und Flasche oder Batterie irgend wo ein schlechterer Leiter z. B. eine kurze nasse Seidenschnur eingeschaltet worden. Diese Einschaltung ist nothwendig, weil sonst das Pulver nicht angezündet, sondern nur umhergeworfen wird.

Ueber die Erwärmung, das Glühen und Schmelzen dünner Metalldrähte im Schließungsbogen einer elektrischen Batterie hat Rieß sehr gründliche Untersuchungen (die man in Müller's Berichte über die neuesten Fortschritte der Physik bündig beisammen findet) angestellt und ist zu folgenden Resultaten gelangt: 1. Die Erwärmung (Temperaturerhöhung) des Drahtes ist bei gegebener Batterieoberfläche dem Quadrate der elektrischen Dichte in der Batterie direkt, und bei bestimmter Elektrizitätsmenge in der Batterie der Oberflächengröße der letzteren umgekehrt proportional; die Erwärmung steht unter übrigens gleichen Umständen mit der 4. Potenz des Drahthalbmessers im umgekehrten Verhältnisse und ist, vorausgesetzt, daß der ganze Schließungsbogen (in Bezug auf Länge und sonstige Beschaffenheit) unverändert bleibt, unabhängig von der Länge des betreffenden dünnen Drahtes (so daß sich die Erwärmung in den verschiedenen Drahtstücken des Schließungsbogens mit der Länge dieser einzelnen Drahtstücke nicht ändert, wenn die ganze Länge des Schließungsbogens stets dieselbe bleibt). 2. Die elektrische Entladung bewirkt im Schließungsbogen eine desto geringere Erwärmung, ein je größeres von der Entladung zu überwindendes Hinderniß im Schließungsbogen (zu Folge Unterbrechung desselben durch eine dünne Schichte Luft oder eines andern Isolators) vorhanden ist. 3. Jede Verlängerung des Schließungsbogens bewirkt eine Verminderung der Temperaturerhöhung in demselben und es ist unter sonst gleichen Umständen die Temperaturerhöhung der Länge des Schließungsbogens umgekehrt proportional; durch die Verlängerung des Schließungsdrahtes wird die Entladung um eine Zeit verzögert, die bei Einschaltung homogener Drähte der Länge des eingeschalteten Drahtes direkt und seinem Querschnitte umgekehrt proportional ist, und die Erwärmung eines Drahtes durch elektrische Entladung steht im umgekehrten Verhältnisse mit der Dauer der Entladung, so daß mit Zunahme der Verzögerung die Erwärmung abnimmt. 4. Die Größe dieser Verzögerung hängt aber nicht bloß von den Dimensionen der eingeschalteten Drähte, sondern auch von der materiellen Beschaffenheit dieser letzteren ab, es müssen daher den verschiedenen Metallen auch spezifisch verschiedene Verzögerungskräfte zukommen; die den folgenden Metallen beigesetzten Zahlen sind die von Rieß gefundenen relativen Werthe der Verzögerungskräfte dieser Metalle (d. i. Zahlen, die das Verhältniß angeben, in welchem Drähte von denselben Dimensionen, aber verschiedenen Metalles, die Entladung der elektrischen Batterie verzögern): Silber 0·1043, Kupfer 0·1552, Gold 0·1746, Cadmium 0·4047, Messing 0·5602, Palladium 0·8535, Eisen 0·8789, Platin 1, Zinn 1·053, Nickel 1·080, Blei 1·503, Neusilber 1·752. Die diesen Werthen der Verzögerungskräfte umgekehrt proportionalen Zahlen geben das Verhältniß der Leitungskräfte (Leitungsfähigkeiten) derselben Metalle an. Im Folgenden sind wieder die relativen Werthe der Leitungsfähigkeiten den betreffenden Metallen beigesetzt: Silber 148·74, Kupfer 100, Gold 88·87, Cadmium 38·35, Messing 27·70, Palladium 18·18, Eisen 17·66, Platin 15·52, Zinn 14·70, Nickel 13·15, Blei 10·32, Neusilber 8·86. 5. Ein und derselbe Entladungsschlag erwärmt die verschiedenen Metalle unter sonst gleichen Umständen in ungleichem Grade, die Metalle besitzen also bezüglich des Entladungsschlages ein verschiedenes Erwärmungsvermögen. Die den folgenden Metallen nebenanstehenden Zahlen geben das Verhältniß des Erwärmungsvermögen dieser Metalle an: Silber 0·1267, Kupfer 0·1133, Gold 0·2112, Messing 0·3861, Eisen 0·7080, Platin 1, Zinn 1·570, Nickel 0·8727, Blei 2·876. 6. Das bei stärkeren Entladungen erfolgende Glühen und Schmelzen der Metalldrähte läßt sich nicht aus der durch Ladungsverstärkung bewirkten Steigerung der elektrischen Erwärmung nach den für schwächere Entladungen stattfindenden Gesetzen erklären, denn die nach diesen Gesetzen für die stärkeren Entladungen, bei welchen das Glühen und Schmelzen erfolgt, berechneten Temperaturen der betreffenden Drähte fallen viel geringer aus, als sie zum Glühen oder wohl gar zum Schmelzen dieser Drähte erforderlich

sind, zum Beweis, daß starke Entladungen in einer andern Art auf einen Draht wirken müssen als schwächere. 7. Wenn eine gewisse Ladung der Batterie eben hinreicht, einen dünnen Draht glühend zu machen, so wird bei Verlängerung des Drahtes dieselbe Ladung eine geringere Stärke des Entladungsstromes geben und zum Glühen des längeren Drahtes nicht mehr hinreichen, sondern muß zur Erzielung dieses Glühens gerade um so viel verstärkt werden, daß die Stärke des Entladungsstromes wieder die vorige Größe erhält. (Unter Stärke des Entladungsstromes wird die Größe der Erwärmung verstanden, welche dieser Strom in einem constanten im Schließungsleiter befindlichen Drahte hervorbringt.) 8. Die zum Glühen eines Drahtes erforderliche Stärke des Entladungsstromes einer Batterie ist der 4. Potenz des Drahthalbmessers proportional. 9. Bezeichnet man die zum Glühen eines Platindrahtes erforderliche Stärke des Entladungsstromes mit 1, so stellen die den nachstehend angeführten Metallen beigesetzten Zahlen die Stärken des Entladungsstromes dar, die zum Glühen eines Drahtes dieser Metalle von den Dimensionen des Platindrahtes erfordert werden: Eisen 0·816, Neusilber 0·950, Palladium 1·07, Messing 2·59, Silber 4·98, Kupfer 5·95. 8. Ueberall wo eine elektrische Schmelzung eintritt, ist eine mechanische Trennung der geschmolzenen Masse in feine Theilchen vorhergegangen, die Schmelzung kann daher nur die Wirkung der Hitze auf fein vertheiltes Metall sein, und es findet, nach Rieß, zwischen der Schmelzung durch Elektrizität und jener durch Feuer der Unterschied statt, daß dieses ein Metall, bis es schmilzt, fortwährend als zusammenhängende Masse erhitzt, die Elektrizität hingegen dasselbe nur zu Temperaturen unter seinem Schmelzpunkte als zusammenhängende Masse erhitzt, die Schmelzung aber durch gleichartige Zersplitterung und Erhitzung bewirkt.

3. Mechanische Wirkungen. Der Entladungsschlag einer Leidner Flasche oder Batterie bewirkt in den zwischen Spitzen oder Kugeln, zwischen welchen er übergeht, gebrachten Körpern eine Ausdehnung oder eine Verschiebung der Theilchen; diese werden manchmal vom elektrischen Strome mitgenommen, so daß sie von gewissen Punkten fortgerissen und an andern angehäuft werden. Wenn man unter die beiden in eine Horizontallinie gebrachten Spitzen eines allgemeinen Ausladers (die Spitzen, die nach Abschrauben der Kugeln m, n in Fig. 383 zum Vorschein kommen) eine Glasplatte bringt, die mit feinem Kreide- oder andern Pulver gleichförmig und dicht überstiebt ist, so wird man nach einigen Entladungsschlägen das Pulver mit gewisser Regelmäßigkeit in Curven angeordnet finden. (Es rührt dies wahrscheinlich von Stößen her, welche die Luft während der elektrischen Explosion erfährt, und von darauf folgenden Rückprallungen, wenn die Luft aus der Umgebung zuströmt, um das durch die Explosion gebildete Vacuum wieder auszufüllen.) Ausdehnsame und tropfbare Flüssigkeiten erfahren durch einen kräftigen Entladungsschlag plötzlich eine starke Ausdehnung. Läßt man einen solchen in der von a bis b und c (Fig. 385) mit einer gefärbten Flüssigkeit, von b bis d mit atmosphärischer Luft oder einem andern Gase gefüllten zweiarmigen Communicationsröhre aus Glas von einer der Kugeln 1, 2 auf die andere überspringen (indem man nämlich die Knöpfe 3, 4 mit den Belegungen der Leidner Flasche oder Batterie leitend verbindet); so wird das besagte Luft- oder Gasquantum so expandirt, daß die farbige Flüssigkeit im engeren Arme c plötzlich auffallend steigt. — Wasser wird so stark ausgedehnt, daß die festesten Glasröhren zerspringen, wenn sie damit ganz angefüllt sind und von einem hineingesteckten Draht auf einen nahe gegenüberstehenden andern ein kräftiger Entladungsfunke überspringt. Dieser durchlöchert auch dicken Pappendeckel oder eine Glasplatte, und es wird dies am besten bewerkstelligt, wenn man das Pappendeckelblatt oder die Glasplatte in aufrechter Stellung zwischen die Enden m, n des Henley'schen Ausladers und mit ihnen in Berührung bringt.

Fig. 385.



Bei Glasplatten müssen die Kugeln dieser Enden abgeschraubt sein, so daß letztere spitzig sind. Eine mechanische Wirkung ist auch das beim Schmelzen eines Drahtes

durch eine hinreichend starke elektrische Entladung immer stattfindende Zersplittert- und Zerstäubtwerden desselben u. s. w.

4. Magnetische Wirkungen des Entladungsschlages. Von diesen wird an einem späteren Orte gesprochen werden, weil dies in verständlicher Weise dort weit kürzer geschehen kann als hier.

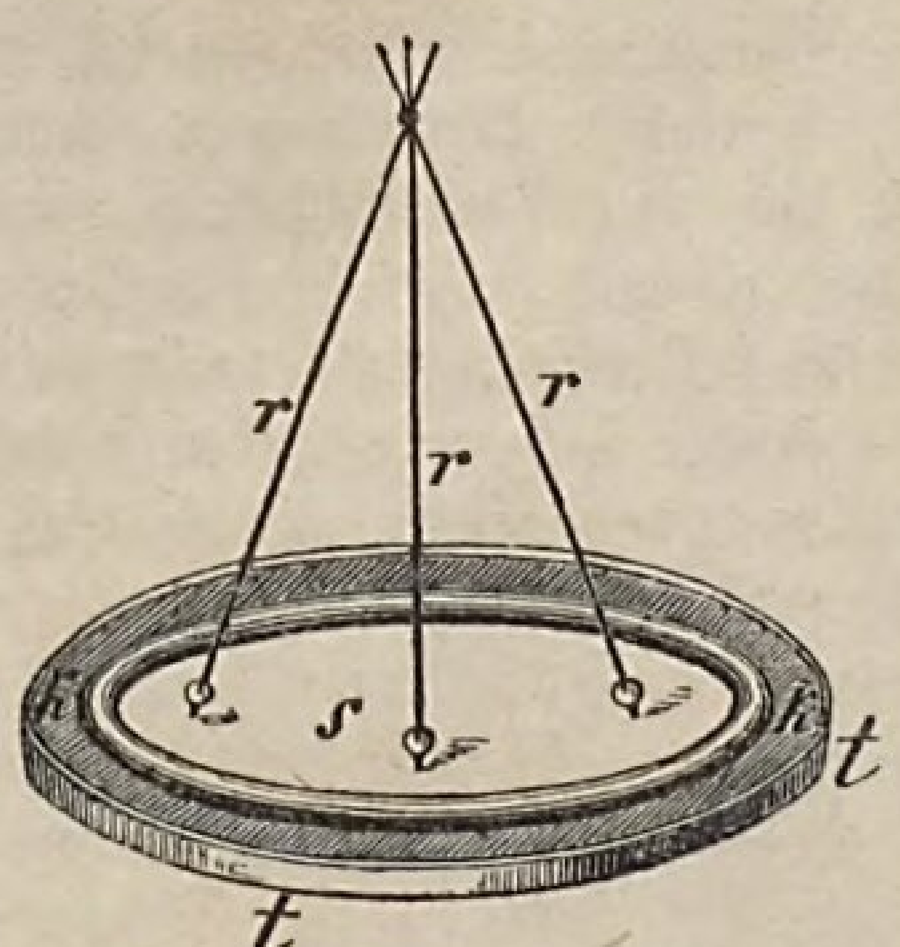
207. Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Elektrizität. Schon lange wußte man, daß die Elektrizität sich mit ungeheurer Geschwindigkeit fortpflanzt, so daß sie meilenlange Drähte in einem Momente durchläuft. Mit Hilfe der Leidner Flasche hat der englische Physiker Wheatstone im J. 1834 diese Geschwindigkeit gemessen, und gefunden, daß sie (d. i. der Weg, den die Elektrizität in einer Sekunde zurücklegt) in Kupferdraht 288000 englische (61000 öster.) Meilen betrage. Folgendes wird sein beobachtetes Verfahren der Hauptsache nach deutlich machen. Bei Entladung einer Leidner Flasche gehen von den zwei Belegungen aus gleichzeitig zwei entgegengesetzte Ströme durch den diese Belegungen verbindenden Leiter (Schließungsleiter) und treffen in der Mitte desselben zusammen. Es folgt dies aus der Erscheinung, daß, wenn der Schließungsleiter von einem sehr langen Drahte gebildet wird, der an zwei Stellen nächst den Belegungen und auch in der Mitte zwischen diesen Stellen unterbrochen ist, bei Entladung der Flasche zuerst und gleichzeitig an jeder der zwei Unterbrechungsstellen nächst den Belegungen und später an der Unterbrechungsstelle in der Mitte des Drahtes ein Funke überspringt. Daß dem aber so sei, davon lieferte Wheatstone den wegen der bekannten, ungemein großen Geschwindigkeit der elektrischen Strömung so schwer herstellbaren Beweis auf nachstehende höchst scharfsinnige Weise. Er ordnete die besagten 3 Unterbrechungsstellen des Schließungsdrahtes so an, daß sie in eine gerade Linie (die wir der Kürze halber **L** heißen wollen) fielen, und betrachtete die bei Entladung der Flasche an diesen Unterbrechungsstellen erscheinenden Funken in einem ebenen Metallspiegel, der um eine, in seiner Ebene gelegene und der Linie **L** parallele Axe äußerst schnell rotiren gemacht wurde. Es zeigte sich da das Bild des mittleren Funkens gegen die Bilder der zwei äußern merklich verschoben, so daß es aus der zu **L** parallelen, geraden Verbindungslinie der zwei letzteren Bilder in der Richtung der Rotation des Spiegels herausgerückt erschien, zum Beweis, daß die äußeren Funken gleichzeitig, der mittlere Funke aber später, nämlich erst dann entstand, als der Spiegel in seiner Drehung schon wieder weiter gerückt war, daß die positive Elektrizität nach der negativen Seite der Flasche und die negative Elektrizität nach der positiven mit gleicher Geschwindigkeit hinströme und beide einander in der Mitte des Schließungsleiters begegnen. Aus der bekannten Länge des Schließungsdrahtes, aus der Drehungsgeschwindigkeit des Spiegels und aus der Größe der Verschiebung des mittleren Bildes, welche sich nach dem in der Lehre vom Lichte vorkommenden Satze, „daß der Winkel, um welchen in einem rotirenden Spiegel das Bild eines fixen Punktes um die Rotationsaxe sich dreht, doppelt so groß ist, als der Winkel, um den der Spiegel gleichzeitig gedreht wird" leicht bestimmen läßt, folgt nun die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes durch eine einfache Rechnung. Da nämlich der von Wheatstone als Schließungsleiter angewendete Kupferdraht von einer Unterbrechungsstelle nächst den Belegungen bis zur andern $\frac{1}{2}$ englische Meile, also bis zur Mitte $\frac{1}{4}$ englische Meile lang war, der Spiegel in der Sekunde 800 Umdrehungen machte, daher 800×360 Winkelgrade zurücklegte, und die Verrückung des Bildes des mittleren Funkens gegen die Bilder der äußeren $\frac{1}{2}$ Grad betrug; so entstand der mittlere Funke gerade um den Zeittheil später, welchen der Spiegel zur Drehung um $\frac{1}{4}$ Grad brauchte, d. i. um $\frac{1}{800 \times 360 \times 4}$ Sekunde. Die Elektrizität durchläuft daher in dieser Zeit $\frac{1}{4}$ englische Meile und

wird somit in 1 Sekunde im Kupfer einen Weg zurücklegen, d. h. eine Geschwindigkeit (x) haben, die sich nach dem Satze „die in bestimmten Zeiten zurückgelegten Wege sind den Zeiten proportional, aus der Proportion $x : \frac{1}{4} = 1 : \frac{1}{800 \times 360 \times 4}$ $= 800 \times 360 = 288000$ englische oder 61000 österreichische Meilen ergibt. Wenn dieses Resultat wegen der großen Schwierigkeit einer scharfen Messung der Drehungsgeschwindigkeit des Spiegels und der Verschiebung des Funkenbildes auch nur als ein beiläufiges angesehen werden kann, so beweist es doch, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität ungeheuer groß sei. Uebrigens hat auf sie auch die materielle Beschaffenheit des Leiters Einfluß.

In neuerer Zeit hat man an verschiedenen Orten die telegraphischen Leitungen zum Messen der Geschwindigkeit der E benützt, für dieselbe aber Werthe gefunden, die alle weit hinter dem von Wheatstone erhaltenen zurückstehen. Walker fand die Geschwindigkeit in Eisendraht 2076, Mitschel 6190 deutsche Meilen (bei Mitschel's Resultat ist der Stoff des Drahtes nicht angegeben); Fizeau und Gounelle fanden in Kupferdraht 24456, in Eisendraht 13586 deutsche Meilen. Die Versuche der zwei letztgenannten Gelehrten zeigen zugleich, daß die Geschwindigkeit für beide Elektrizitäten gleich, von der Spannung der E und von der Intensität des Stromes unabhängig, in Leitern verschiedener Natur dem Leitvermögen nicht proportional und mit dem Querschnitte des Leiters nicht veränderlich ist.

208. Das Elektrophor. Dieser von Wilke schon im J. 1762 erfundene, und von Volta 1775 wesentlich verbesserte Apparat (Fig. 386) besteht aus einem, einige Linie dicken und 1—2 Fuß im Durchmesser haltenden Harzkuchen k, welcher in einen leitenden Teller (die Form) t, aus Blech oder aus mit Zinnfolie überzogenen Holz oder Pappendeckel, gegossen ist, und eine möglichst ebene Oberfläche hat, worauf eine etwas kleinere Scheibe (der Deckel) s mit abgerundetem oder nach aufwärts umgebogenem Rande platt aufsitzt, die, um sie isolirt abheben zu können, mit Seidenschnüren r oder mit einem im Mittelpunkte festgemachten gläsernen Handgriffe versehen ist, und aus Metall oder gleichfalls aus mit Zinnfolien überzogenen Holze oder Pappendeckel besteht. Reibt oder schlägt (peitscht) man die Oberfläche des Harzkuchens, — welcher durch inniges Zusammenschmelzen gewöhnlich von 8 Theilen Kolophonium, 1 Theil Schellack und 1 Theil venetianischem Terpentin (am besten ist es lauter Schellack, also 9 Theile und 1 Theil Terpentin zu nehmen), Ausgießen der noch flüssigen Masse in den Teller und Entfernen aller Blasen und Unebenheiten von der noch warmen Oberfläche mittelst eines angenäherten, unten ebenen, heißen Eisenkörpers (einer Art Bügeleisens) zu Stande gebracht wird, — mit Flanell, einem Fuchsschwanze, einem Hasen- oder Katzenfelle; so wird sie negativ elektrisch. Setzt man nachher den Deckel s, ihn an den Seidenschnüren oder an der gläsernen Handhabe fassend, auf den Harzkuchen so auf, daß er nirgends die Form berührt, sondern von dieser ringsherum mindestens 1 Zoll weit absteht; so zeigt er freie — E. Es kann zwar die — E des Harzkuchens in den Deckel, da dieser den schlechtleitenden Kuchen nur in wenigen, wegen seiner unvollkommenen Ebenheit und Glätte vorhandenen Hervorragungspunkten berührt, nicht merklich übergehen; sie ruft aber in demselben durch Vertheilung + E und — E hervor und macht letztere durch Bindung der ersteren frei. Diese freie — E, so wie überhaupt jede Spur von E, verschwindet sogleich wieder aus dem Deckel, wenn man ihn, ohne daß er vorher mit einem Leiter in Berührung gekommen ist, vom Kuchen abhebt (weil sich da die durch Vertheilung im Deckel hervorgerufenen entgegengesetzten Elektrizitäten,

Fig. 386.



dem vertheilenden Einflusse entzogen, wieder zum natürlichen Zustand vereinigen); findet aber vor dem Abheben des Deckels dessen Berührung mit einem Leiter Statt, wobei stets ein Funke auf diesen überspringt, so zeigt der Deckel nach dem Abheben freie positive Elektrizität .... (1), (es ist nämlich, da durch diese Berührung die freie — E des Deckels abgeleitet wird, die eben besagte Wiedervereinigung nicht mehr möglich, sondern es tritt die + E im Deckel ungebunden hervor). Die angeführten Erscheinungen zeigen sich ganz in der nämlichen Weise, auch wenn der Harzkuchen sich nicht in einer leitenden Form befindet. Diese bewirkt nur, daß der Kuchen durch das Schlagen oder Reiben mit dem Pelzwerke stärker negativ elektrisch wird. Die dabei an der obern Kuchenfläche sich entwickelnde negative Elektrizität zersetzt nämlich den natürlichen Zustand der Form in + E und — E, die — E fließt zu Folge Abstoßung in die Erde ab und die + E, welche sich zum Theil in die untere Fläche des Kuchens hineinzieht, bindet die negative Elektrizität an der obern Fläche dieses letzteren zum Theil, macht sie dadurch fester am Harze haften, und es können durch fortgesetztes Reiben und Schlagen des Harzkuchens allmälig immer neue Mengen von — E auf demselben erzeugt und angehäuft werden. Berührt man die Form und den auf dem Kuchen aufgesetzten Deckel gleichzeitig (etwa mit dem Daumen und einem Finger derselben Hand), so erhält man zu Folge Vereinigung und Neutralisirung der + E der Form und der — E des Deckels einen Schlag.

Das eben besagte Festhaften der Elektrizität am Harze ist Ursache, warum die beschriebenen Versuche mit dem Deckel sich öfters ohne Aenderung des Erfolges wiederholen lassen .... (2) und der ganze Apparat längere Zeit hindurch eine gleich ergiebig bleibende Quelle von Elektrizität darstellt, was ihm den Namen Elektrophor d. i. Elektrizitäts-Träger verschaffte, und ihn gleichsam zu einer Elektrisirmaschine macht. Das Elektrophor behält seine Wirksamkeit besonders dann sehr lange, wenn man auch in der Zeit, wo es nicht gebraucht wird, den Deckel auf dem Kuchen liegen läßt, weil da der von der + E der untern Kuchenfläche ungebunden gebliebene Theil der — E der obern Kuchenfläche von der im Deckel durch Vertheilung hervorgerufenen positiven Elektrizität festgehalten und nach Außen abzufließen gehindert wird. Man kann die freie Elektrizität, welche zu Folge (1) und (2) der Deckel nach und nach immer wieder liefert und die bei Annäherung eines Leiters an denselben als überspringender Funke erscheint, zum Laden einer Leidner Flasche und zu manchen anderen Zwecken verwenden.

Dem Harzkuchen läßt sich beim Elektrophor auch eine mehrere Linien dicke, ebene Glasplatte substituiren, die an der oberen Fläche mit einer dünnen Schichte von Collodium überzogen ist. Dieser erst in neuester Zeit aus Amerika her bekannt gewordene Stoff wird durch Auflösen von Schießbaumwolle in mit Alkohol versetztem Aether als eine beinahe wasserhelle, schleimige Flüssigkeit erhalten, welche, mit dem Pinsel auf die Glastafel aufgestrichen, daselbst nach Verflüchtigung des Auflösungsmittels und nach mehrmaliger Wiederholung des Anstriches, die erwähnte dünne Schichte zurückläßt, die durch Reiben mit Pelzwerk sehr stark und bleibend negativ elektrisch wird. Die mit dieser, für die Elektrizitätslehre gewiß auch noch in anderer Beziehung nützlich werdenden Substanz auf Glas gemachten Anstriche lassen sich davon nach dem Trocknen als äußerst dünne und leichte, ganz durchsichtige und Regenbogenfarben spielende Häutchen ablösen, welche luft- und wasserstoffgasdicht sind und wegen der letzteren Eigenschaft in Verbindung mit ihrer außerordentlichen Leichtigkeit sich auch ganz vorzüglich für sehr kleine Luftballone (Charlieren) als Hüllen eignen, die dadurch erhalten werden, daß man die innere Fläche eines Glasballons mit der Collodium-Lösung überzieht und den Ueberzug nach erfolgter Trocknung von der Glasfläche ablöst. Auch Blätter aus Gutta Percha eignen sich recht gut anstatt des Harzkuchens zu Elektrophoren; jedoch scheint keiner der zwei genannten Stellvertreter dieses Kuchens bis jetzt eine allgemeine Verwendung zu diesem Zweck gefunden zu haben.

209. Der Condensator, ein von Volta erfundenes, sehr nützliches Instrument, dient dazu, um die Anwesenheit der Elektrizität nachzuweisen, welche eine zu geringe Spannung besitzt, als daß sie von Elektroskopen allein angezeigt werden könnte. Er besteht in jener bequemsten Form, (wo mit demselben zugleich ein

zu seiner Anwendung immer erforderliches Elektroskop vereinigt ist, am gewöhnlichsten aus einem Goldblatt-Elektroskope, auf dessen Collectorplatte **A** (Fig. 387) sich eine zweite, eben so große und gleichgestaltete Platte (der Deckel) **B** aufsetzen läßt, die aus dem nämlichen Metalle wie **A** besteht und mit einem isolirenden Handgriffe h (von Glas oder Harz) versehen ist. Collectorplatte und Deckel sind an den beim Aufsetzen des letzteren mit einander in Berührung kommenden Flächen genau eben geschliffen und möglichst gleichförmig mit einer äußerst dünnen Schichte Schellack- oder (besser) Bernstein-Firniß (der, während die Platten heiß sind, mittelst eines Pinsels aufgetragen wird) überzogen, so daß der Firniß eine ganz ebene Fläche bildet.

Fig. 387.



Die Wirkung und der Gebrauch des Condensators ergibt sich nun aus Folgendem: Bringt man einen elektrischen z. B. + **E** enthaltenden Körper **C** mit der untern Fläche der Collectorplatte **A** oder mit einem Knopfe (k) eines gewöhnlich aus dieser Platte horizontal hervorstehenden Metallstiftes in Berührung, während der Deckel **B** abgehoben ist; so geht aus dem besagten Körper **C** in die Platte **A** und in die Goldblättchen so lange Elektrizität über, bis die übergegangene Menge, die wir mit + e bezeichnen wollen, und das in **C** zurückgebliebene Quantum (+ $\mathbf{E}_1$) eine gleiche Spannung besitzen, daher im Gleichgewichte stehen. Angenommen, diese Spannung wäre wegen des zu schwachen ursprünglichen Elektrizitätsgrades von **C** zu gering, um eine gegenseitige Abstoßung der Goldblättchen bewirken zu können; so zeigt das Elektroskop die doch vorhandene Elektrizität des Körpers **C** nicht an. Sitzt aber der Deckel **B** auf der Collectorplatte, so wirkt die in letztere übergegangene +e durch die, die beiden Platten trennende Harzschichte vertheilend auf die natürliche Elektrizität des Deckels und zerlegt sie in + e_1 und — e_1, + e und — e_1 ziehen einander an, + e_1 aber wird von + e abgestoßen. Berührt man den Deckel an seiner obern Fläche irgendwo mit dem Finger; so leitet dieser die + e_1 ab, es wirkt dann die Anziehung zwischen + e und — e_1 ganz frei und beide Elektrizitätsmengen binden einander gegenseitig, so daß die + e in der Collectorplatte und in den Goldblättchen, indem sie hiedurch ihre vorige Spannung (Wirkung nach außen) zum bei weitem größten Theil verliert (Siehe *) auf S. 409) der im Körper **C** zurückgebliebenen + $\mathbf{E}_1$ nicht mehr das Gleichgewicht zu halten vermag, daher von dieser ein neuer Theil z. B. + e_{11} in die Collectorplatte und in die Goldblättchen übergehen muß. Dieser wirkt wieder vertheilend auf den Deckel, wird dann aus dem oben angeführten Grunde ebenfalls gebunden, es muß dann ein 3. Antheil der + **E** des Körpers **C** in die Collectorplatte und in die Goldblättchen übergehen und so kann darin von dieser Elektrizität allmälig immer mehr angehäuft (diese Elektrizität immer mehr verdichtet, oder condensirt) werden, so daß dieselbe, wenn sie durch Abheben des Deckels in Freiheit gesetzt wird, eine zum Divergirenmachen der Goldblättchen hinreichende Spannung besitzt. Diese Anhäufung (Condensirung) wird offenbar so lange zunehmen, bis die Summe der in der Collectorplatte frei bleibenden Elektrizitätsantheile mit der im Körper **C** zurückgebliebenen Elektrizität durch Spannung ins Gleichgewicht getreten ist.

Daß die condensirenden Metallplatten (der eigentliche Condensator) auch vom Elektroskope getrennt sein können, ist für sich klar; dann spielt die untere (auf einen Tisch oder dgl. aufliegende) Platte die Rolle des Deckels, die obere hingegen jene des Collectors und muß, nach vollendeter Condensirung der Elektrizität in ihr, an dem isolirenden Handgriffe abgehoben und wie ein anderer auf Elektrizität zu prüfender (stärker elektrischer) Körper an ein Elektroskop gebracht werden. Anstatt durch eine Firnißschichte trennt man die Metallplatten des Condensators auch durch eine dünne Luftschichte, indem man die obere Platte auf drei ganz kleine und gleich

hohe Harzkügelchen setzt, welche, die Ecken eines gleichseitigen Dreieckes bildend, auf der untern Platte angeschmolzen oder besser (um alles Harz zwischen den Platten und somit auch die Elektrizitäts-Erregung wegzubringen, die sonst schon blos durch Andrücken oder Reiben beim Aufsetzen des Deckels so leicht stattfindet, und nur durch große Behutsamkeit vermieden werden kann), indem man die von isolirenden Stützen getragenen Metallplatten im entsprechenden Abstande einander genau parallel und senkrecht gegenüber stellt. Einen recht zweckmäßig eingerichteten Condensator dieser letzteren Art, den Kohlrausch construirte, findet man in Pogg. Ann. Nr. 3, 1853. S. 464 beschrieben. Den gefirnißten Metallplatten können auch zwei dünne Glasplatten substituirt werden, deren jede nur auf der einen Fläche mit Staniol überklebt ist und die mit dem unbeklebt belassenen Glasflächen auf einander gelegt werden.

Die verdichtende Kraft des eigentlichen Condensationsapparates ist offenbar desto größer, je weniger von der jedes Mal in den Collector übergegangenen E ungebunden bleibt, je geringer also die gegenseitige Entfernung der Condensator-Platten (die Dicke der sie scheidenden Firniß- oder Luftschichte) ist. Das Maß der condensirenden Kraft ist das Verhältniß der Elektrizitätsmengen, welche die Collectorplatte aufzunehmen vermag, jenachdem sie isolirt oder unter dem Einflusse des Deckels (der condensirenden 2. Platte) steht. Es ist dieses Verhältniß, welches Rieß die Verstärkungszahl des Condensators nennt, nach den Versuchen dieses Gelehrten aber nicht allein von der besagten Entfernung der Platte abhängig, sondern auch von der Größe dieser letzteren, von der Stelle, wo der zu untersuchende Körper an die Collectorplatte angelegt wird und von der Art der Ableitung des Deckels. Rieß fand eine größere Verstärkungszahl bei größeren Platten, ferner als das Anlegen des zu untersuchenden Körpers in der Mitte anstatt am Rande des Collectors geschah und als die Ableitung der condensirenden Platte zu dieser parallel laufend anstatt auf ihr normal war. Daß übrigens mit einem und demselben Condensator desto geringere elektrische Spannungen nachgewiesen werden können, je empfindlicher das Elektroskop ist, auf welches die condensirte E einwirkt (mit welchem die Collectorplatte in Verbindung steht, oder nach erfolgter Condensation gesetzt wird), leuchtet von selbst ein.

Nach Gaugain wird die Empfindlichkeit des mit einem Condensator versehenen Goldblatt-Elektroskopes zu einem hohen Grade gesteigert, so daß es zur Entdeckung der schwächsten Spuren von E hinreicht, wenn man den Platten seines Condensators eine geringe Größe gibt, und noch einen zweiten Condensator mit großen Platten zu Hilfe nimmt, in diesem die E des zu untersuchenden Körpers (der Elektrizitätsquelle) condensirt und dann mit seiner, die condensirte E enthaltenden (von dem zugehörigen Deckel getrennten) Collectorplatte den Condensator mit den kleineren Platten ladet. Denn bringt man die Elektrizitätsquelle an einen Condensator mit großen Platten, so ladet sich dieser mit E genau von derselben Spannung, wie wenn die Oberfläche der Platten klein wäre, und die blos von dieser Spannung abhängige Wirkung der einen dieser großen Platten auf das Elektroskop kann offenbar nicht größer sein als bei kleiner Oberfläche der Platte. Bedient man sich aber der besagten großen Platte, um mit ihrer (condensirten) E, anstatt diese direkt zu schätzen, einen kleinplattigen Condensator zu laden, so wird der auf der großen Platte entwickelte Antheil E auf der kleineren Oberfläche verdichtet, muß also eine größere Spannung erlangen als man durch direktes Berühren des kleinen Condensators mit der Elektrizitätsquelle hätte erhalten können. Bei dem Apparate, durch welchen Gaugain die oben erwähnte Empfindlichkeits-Steigerung darthat, hatte der mit einem gewöhnlichen Goldblatt-Elektroskope vereinigte kleinere Condensator runde Platten von 8 Centim. Durchmesser, die Platten des großen Condensators hingegen waren rechteckig, 38 Centim. breit und 40 Centim. lang und bestanden aus Glastafeln, auf welchen mit mehreren Firnißschichten überzogene Staniolblätter festgeklebt waren. (Compt. rend. 20. Juni 1853. 1084.) . . . (+).

Sehr empfindlich, und überdies bequem, weil man zugleich die Beschaffenheit der aufgefundenen Elektrizität (ob sie + oder — ist) erfährt, ist der oben beschriebene Condensator, wenn das Elektroskop daran statt zwei Goldblättchen nur ein einziges etwas längeres enthält, dessen unteres Ende, wie in Fig. 388 und 389, gerade in der Mitte zwischen zwei entgegengesetzt, aber gleich stark und bleibend elektrischen Körpern frei herabhängt (das Nähere über diese Körper kann erst in der Folge angegeben werden); denn theilt man dem Blättchen irgend eine, wenn auch nur sehr wenig gespannte Elektrizität mit, so wird diese von demjenigen

Fig. 388.

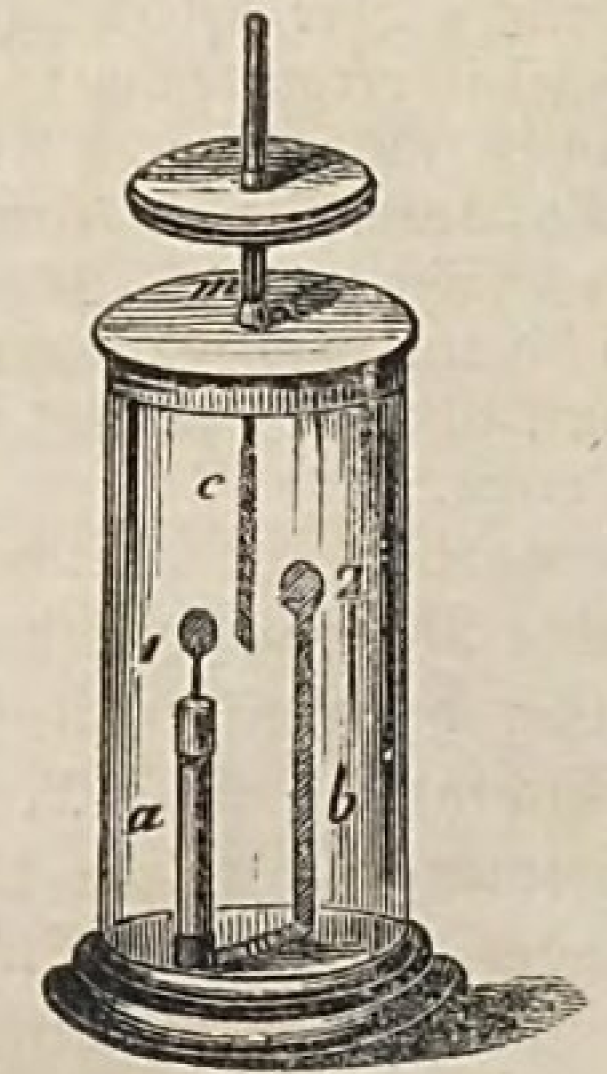
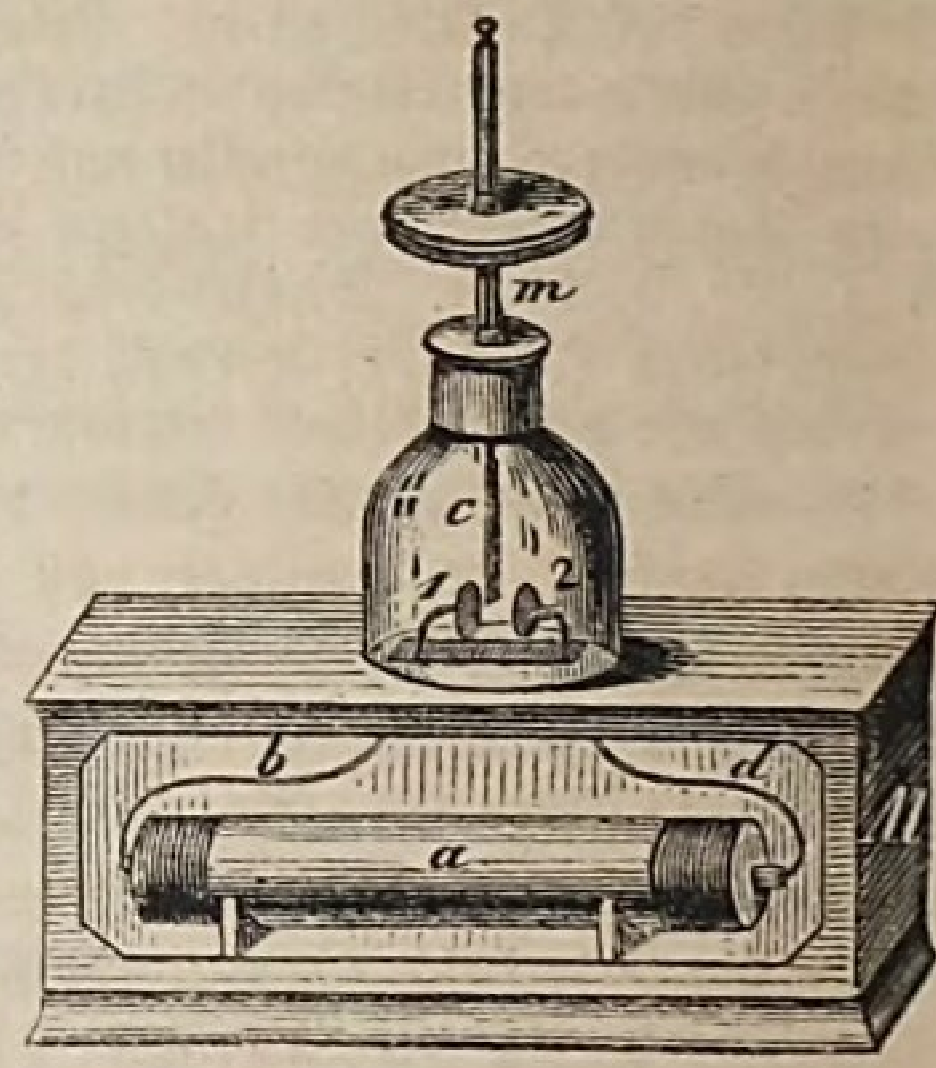
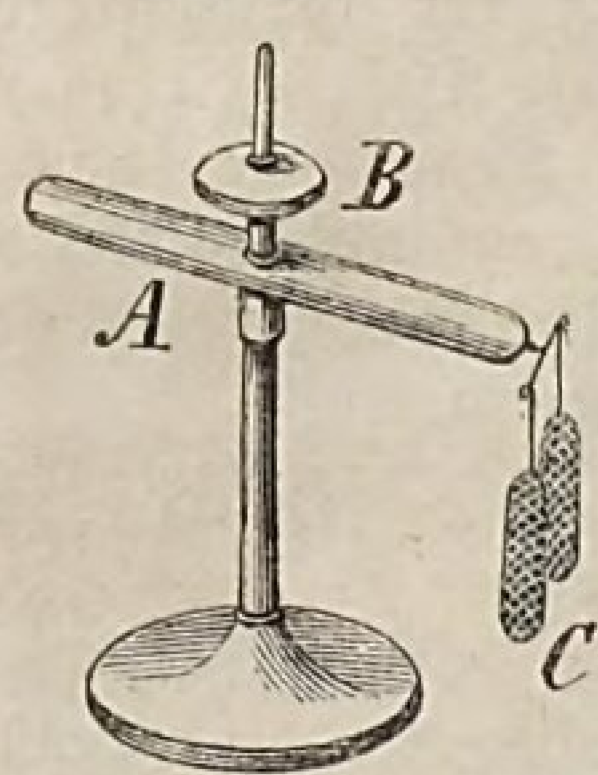


Fig. 389.



der besagten Körper, der die ihr gleichnamige Elektrizität besitzt, abgestoßen, und von dem andern (ungleichnamig elektrischen) gleichzeitig angezogen und bewegt sich gegen den letzteren hin. Wird der Deckel hinweg und die Collectorplatte ungefirnißt gedacht, so hat man ein Elektroskop von außerordentlicher Empfindlichkeit. Es führt dann dieses Instrument, auf welches wir später wieder zurückkommen werden, nach seinem Erfinder den Namen: das Bohnenberger'sche oder das Fechner'sche Elektroskop, je nachdem es die in Fig. 388 dargestellte, oder die noch vorzüglichere in Fig. 389 anschaulich gemachte Einrichtung hat. Beide Einrichtungen können, wie gesagt, erst später näher erklärt und dann soll zugleich der Verbesserungen derselben gedacht werden (††).

Fig. 390.



Um die Wirkung des Condensators einer größeren Versammlung anschaulich zu machen, eignet sich recht gut die in Fig. 390 abgebildete von Winter herrührende Vorrichtung. A ist ein isolirter (von einer Glassäule getragener) Conductor aus Messingblech, B der mit A leitend vereinigte Condensator, bestehend aus zwei Messingplatten, die durch einen auf die untere Platte aufgeklebten Seidenfleck getrennt sind, und C das Elektroskop (S. 386). Wird dem Conductor A ein geriebener Glasstab genähert, und zuerst A, dann die obere Condensatorplatte ableitend berührt und gleichzeitig mit der letzteren Berührung der Glasstab entfernt, so zeigt das Elektroskop keine Elektrizität in A an; diese gibt sich aber augenblicklich durch Divergenz der elektroskopischen Papiercylinder bei C kund, so wie der Condensatordeckel abgehoben wird. Die Vorrichtung zeigt also augenfällig zugleich mit der Wirkung des Condensators auch den Hergang der elektrischen Vertheilung.

210. Berührungselektrizität. Je zwei ungleichartige Körper werden schon bei der bloßen wechselseitigen Berührung (beim Contacte) elektrisch, und zwar der eine positiv und der andere negativ. Man nennt die so erregte Elektrizität „Berührungs- oder Contact-Elektrizität," oder weil diese Erregungsart zu Folge einer Entdeckung Galvani's (welche bei anderer Gelegenheit näher besprochen werden wird) zuerst von Volta nachgewiesen wurde, auch Galvanische oder Volta'sche Elektrizität. Als Ursache derselben sieht man eine eigene Kraft an, die ihren Sitz an den Berührungsstellen hat, daselbst, so lange die Berührung dauert, beständig eine zersetzende Wirkung auf den natürlichen Zustand der sich berührenden Körper äußert und alle dadurch hervorgerufene + **E** auf den einen, alle — **E** aber auf den andern dieser Körper treibt. Man heißt sie deshalb elektromotorische Kraft und die Körper, durch deren Contact Elektrizität erregt wird, Elektromotoren. Es wird diese Kraft auch mit dem Namen Galvanismus oder Voltaismus bezeichnet, unter welchem man jedoch gewöhnlicher den Inbegriff aller ins Bereich der Berührungselektrizität gehörigen Erscheinungen versteht.

211. Direkte Nachweisung der Contact-Elektrizität. Hierzu werden, da die Spannung dieser Elektrizität je nach der Natur der Elektromotoren (der Erreger) verschieden stark, immer aber nur sehr gering ist, kräftige Elek-

tromotoren, (die sich nur unter den Leitern der Elektrizität finden) und für elektrische Spannung sehr empfindliche Prüfungsmittel erfordert. Als Erreger eignen sich nun am besten heterogene Metalle, unter den gemeinen derselben vorzüglich Zink und Kupfer, und man verfährt bei dem betreffenden Versuche, der in seiner Wesenheit den sogenannten Volta'schen Fundamentalversuch darstellt, in einer der hier folgenden Arten. Man bringt an dem Fechner'schen Elektroskope S. 422 statt der (gewöhnlich messingenen) Collectorplatte eine solche Platte aus Kupfer von etwa 2 Zoll Durchmesser an und setzt auf diese eine gleich große, auf der einen Seite mit einem gut isolirenden Handgriffe (einem mehrere Zolle langen Stiele aus Schellack oder aus mit Harz überzogenem Glase) versehene Zinkplatte so auf, daß sie die Kupferplatte deckt und das Ganze das Aussehen eines Condensators hat, von welchem es sich in der That auch nur durch den Abgang des Firnißüberzuges an den in Berührung stehenden (gleichfalls ganz eben geschliffenen) Flächen der Platten unterscheidet. Hebt man die Zinkplatte parallel zur Kupferplatte, also so ab, daß beide gleichzeitig an allen Punkten außer Berührung kommen .... (1); so zeigt das Goldblatt (natürlich als Elektrizität der Kupferplatte) — **E** an. Entfernt man hierauf diese Elektrizität durch Berührung der Kupferplatte mit dem Finger und berührt dann letztere an einer Stelle mit der indessen beständig am isolirenden Handgriffe frei in der Luft gehaltenen Zinkplatte .... (2); so weist das Elektroskop als Elektrizität des Zinkes + **E** nach.

Man kann aber auch, um die + E des Zinkes darzuthun, an dem Elektroskope die kupferne Collectorplatte mit einer aus Zink vertauschen und auf diese eine Platte aus Kupfer aufsetzen, wo dann beim Abheben der letzteren mittelst isolirenden Handgriffes das Goldblatt + E anzeigt. Das Vertauschen der ursprünglichen, messingenen Collectorplatte einmal mit der Kupfer- und das andere Mal mit der Zinkplatte, so wie das gleichzeitig erforderliche, abwechselnde Anbringen des isolirenden Handgriffes immer an einer dieser Platten, wird leicht ausführbar, wenn die besagte messingene Collectorplatte sich von dem das Goldblatt tragenden Drahte abschrauben läßt und die ihr zu substituirenden Platten von Kupfer und Zink in ihrer Mitte mit einer passenden Schraubenmutter versehen sind, so daß jede auf dem erwähnten Drahte und ein isolirender Handgriff immer gleichzeitig in der andern festgeschraubt werden kann. Warum der Contact heterogener Metalle, welcher sowohl bei der oben unter (2) besprochenen Berührung der Kupfer- und der Zinkplatte als auch bei der besagten Vertauschung der Collectorplatten an den Zusammenschraubungsstellen statt findet, ohne merklichen Einfluß auf die beschriebenen Anzeigen des Elektroskopes bleibt, wird das Nachfolgende lehren . . . (3).

Ganz in gleicher Weise kommt man auch mit dem (wenn gleich dem Fechner'schen Instrumente an Empfindlichkeit nachstehenden) Bohnenberger'schen Elektroskope (S. 422) zum Ziele, nur müssen da die Kupfer- und Zinkplatte (aus später klar werdendem Grunde) einen etwas größeren Durchmesser haben. Beträgt dieser mindestens 4—5 Zoll, so genügt selbst ein gewöhnliches Goldblatt-Elektroskop, welches sonst (bei kleineren Platten) die Contact-Elektrizität nur nach gehöriger Verstärkung mittelst des Condensators anzuzeigen vermag. In diesem Falle ist der Versuch in der Art anzustellen, daß man sowohl die Kupfer- als auch die Zinkplatte mit einem isolirenden Handgriffe versieht, mittelst dieser Handgriffe die Platten ihren ganzen Flächen nach mit einander in Berührung bringt, dann unter der oben bei (1) angegebenen Vorsicht wieder trennt und nun mit jeder für sich einen Condensator ladet. Hiebei muß man aber das in Berührungbringen und Trennen der Erregerplatten mehrere (10—20) Male wiederholen, (nachdem sie vorher immer wieder in den unelektrischen Zustand versetzt worden), dann die jedes Mal in dem einen Metalle (z. B. dem Zinke) frei gewordene Elektrizität an die Collectorplatte des Condensators übertragen und nach so erzielter hinreichender Verstärkung dieser Elektrizität ganz in gleicher Weise auch mit den Elektrizitätsmengen verfahren, die bei den besagten einzelnen Berührungen und Tren-

nungen im zweiten Metalle (dem Kupfer) entwickelt wurden. Die eben beschriebene Anwendung eines gewöhnlichen Goldblatt-Elektroskopes gewährt sogar den Vortheil, daß die Gleichheit des Winkels, um welchen die zwei Goldblättchen das eine Mal durch die Elektrizität der Zink- und das andere Mal durch jene der Kupferplatte divergiren gemacht werden, zugleich die jedesmalige Gleichheit der durch den Contact in den beiden Platten hervorgerufenen und abgeschiedenen Mengen von + **E** und — **E** augenscheinlich darthut.

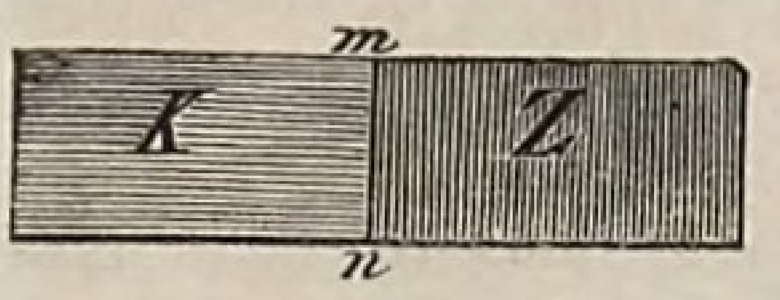
Dieser Winkel läßt sich mittelst eines unterhalb der Blättchen und in der Ebene, in welcher ihr Divergiren erfolgt, angebrachten Gradbogens (wie ihn die frühere Fig. 387 bei m zeigt) leicht schätzen, und es können demselben, so lange er nur wenige Grade beträgt, der Erfahrung gemäß, die dem Elektroskope mitgetheilten Elektrizitätsmengen proportional angenommen werden. Es dient bei dieser Einrichtung das Elektroskop daher zum Messen der Elektrizität und heißt dann mit Recht Elektrometer.

Sehr leicht und in eklatanter Weise soll, nach Gaugain, der Volta'sche Fundamentalversuch mit seinem S. 421 beschriebenen Condensator gelingen.

Werden bei den vorstehenden Versuchen die einander zugekehrten Flächen der Erregerplatten nicht in der Gänze, sondern nur zum Theil in Berührung gebracht, so sind die Aeußerungen der Contact-Elektrizität nach Aufhebung des Contactes schwächer; sie nehmen mit der Größe der in Berührung gestandenen Flächenstücke ab und sind völlig unmerklich, wenn der Contact nur in wenigen Punkten Statt fand, oder wenn die eine Platte nicht parallel zur andern abgehoben wurde (im letzteren Falle, weil da nur die vor der gänzlichen Trennung der Platten übrigbleibende Berührung derselben in sehr wenigen Punkten als wirksam anzusehen ist) . . . . (4).

Die nach aufgehobenem Contacte in der Zink- und Kupferplatte vorhandenen Elektrizitäten werden aber nicht etwa erst durch diese Aufhebung, sondern schon während des Contactes erregt, treten aber, so lange letzterer fortdauert, darum nicht merklich hervor, weil sie sich gegenseitig binden. Dies folgt aus dem Umstande, daß man den Platten, während sie sich berühren, abwechselnd bald der einen bald der andern, kleine Elektrizitätsmengen entziehen kann, so wie es den Bedingungen, unter welchen Elektrizitäten sich gegenseitig binden, gemäß ist, was eine geladene Leidner Flasche beweist, aus deren Belegungen sich auch abwechselnd immer geringe Quantitäten freier E ableiten lassen. Nur sind die aus den Platten ableitbaren Elektrizitätsmengen einzeln außerordentlich gering, so daß sie erst nach Ansammlung in einem passenden Verdichtungsapparate merklich werden. Ferner geht die Elektrizitäts-Erregung beim Contacte nicht blos im Augenblicke seines Eintrittes, etwa in Folge von Druck, Reibung etc. vor sich, sondern die Ursache dieser Erregung bleibt so lange wirksam als der Contact dauert. Dies beweist ein schon von Volta angestellter Versuch mit einer Doppelplatte, die (Fig. 391) zur Hälfte aus Kupfer K, und zur Hälfte aus Zink Z besteht, welche Metalle bei mn an einander gelöthet sind. Faßt man nämlich die Doppelplatte beim Zink und prüft dann das Kupfer mittelst des Condensators, so zeigt dieser negative, bei Prüfung des Zinkes hingegen, während die Kupferplatte in der Hand gehalten wird, positive Elektrizität an, und der Erfolg ist stets der nämliche, man mag das Experiment noch so oft und nach noch so langen Zwischenzeiten wiederholen . . . . (5).

Fig. 391.



212. Erklärung der vorstehenden Erscheinungen und nähere Betrachtung des Herganges bei Erregung der Contact-Elektrizität. (Was hier von Zink und Kupfer gesagt wird, gilt natürlich in ähnlicher Weise von allen anderen Elektromotoren.) Kommt ein isolirtes, unelektrisches Stück Zink mit einem isolirten, unelektrischen Stücke Kupfer in Contact, so bewirkt die elektromotorische Kraft in jedem dieser Stücke an der Contactstelle eine Zersetzung des natürlichen Zustandes (der neutralen Elektrizität), treibt von den so geschiedenen Elektrizitäten alle positive auf dem Zinke, alle negative aber auf dem Kupfer zusammen, und dies geht so fort, bis die wechselseitige Anziehung dieser entgegengesetzten Elektrizitäten mit der sie scheidenden elektromotorischen Kraft ins Gleichgewicht getreten ist. Es erhält demnach das Zink eine gewisse (von der Stärke dieser Kraft abhängige, mit ihr ab- und zunehmende) Menge positiver und das Kupfer eine gleich große Menge negativer Elektrizität. Beide drängen sich (zu Folge ihrer gegenseitigen Anziehung) an den Contactstellen zusammen, können diese aber wegen der daselbst thätigen,

ihrer Vereinigung widerstrebenden, elektromotorischen Kraft (welche hier ebenso als Hinderniß wirkt, wie bei einer geladenen Leidner Flasche das schlecht leitende Glas) nicht überschreiten und binden sich wechselweise so, daß nur geringe Antheile derselben frei über die betreffenden Metalle verbreitet sind. (Man sehe *) S. 409). Die elektromotorische Kraft bedingt daher auf beiden Metallen die Existenz freier Elektrizitäten von gewissen Dichten (z. B. $+e$ und $-e_1$) mithin auch einer bestimmte Differenz $[+e-(-e_1)=e+e_1]$ der letzteren, und diese Differenz der Dichten (elektrische Differenz) ist, den Bedingungen wechselseitiger elektrischer Bindung gemäß, offenbar der ganzen, durch die elektromotorische Kraft an den Contactstellen abgeschieden erhaltenen Elektrizitätsmenge, sonach auch der Stärke dieser Kraft selbst proportional . . . . (129)

Es erklärt sich nun, warum die zwei in Rede stehenden Metalle, während sie sich berühren, nur ganz schwache, blos durch sehr empfindliche Condensatoren nachweisbare, nach Aufhebung der Berührung aber (weil da die eben besagte bindende Wirkung aufhört und die ganzen, durch die elektromotorische Kraft getrennten Elektrizitätsmengen frei auf die Oberfläche der isolirten Metalle treten) weit stärkere, auch mit weniger empfindlichen Prüfungswerkzeugen wahrnehmbare elektrische Spannungen zeigen. Da an wenigen Berührungspunkten auch nicht viel Elektrizität gebunden vorhanden sein kann, so begreift man auch, daß mit der Größe der Fläche, in welcher der Contact Statt findet, die gebundene (nach Aufhebung des Contactes frei werdende) Elektrizität zu- und abnehmen müsse. [S. 424 unter (4).]

Wird einem der zwei Metalle, während sie durch Contact elektrisch erregt sind, irgend eine Elektrizität (von außen her) mitgetheilt; so verbreitet sich diese, ungehindert die Contactstellen passirend, (denn die daselbst thätige, dem Uebergange der Elektrizität von einem Metalle in das andere widerstrebende elektromotorische Kraft ist mit dem Getrennthalten der entgegengesetzten Contact-Elektrizitäten beschäftigt) über beide Metallstücke gerade wie über jeden andern Leiter, vermehrt so den freien Theil der in dem einen Stücke vorhandenen gleichnamigen Contact-Elektrizität, neutralisirt jenen der ungleichnamigen **E** im anderen Metalle theilweise oder ganz und tritt mit dem im letzteren Falle etwa noch bleibenden Ueberschusse auch an diesem Metalle frei hervor . . . . (6); immer muß jedoch wegen fortdauernder Wirkung der elektromotorischen Kraft ein dieser Kraft proportionaler Dichtenunterschied der **E** beider Metalle Statt finden.

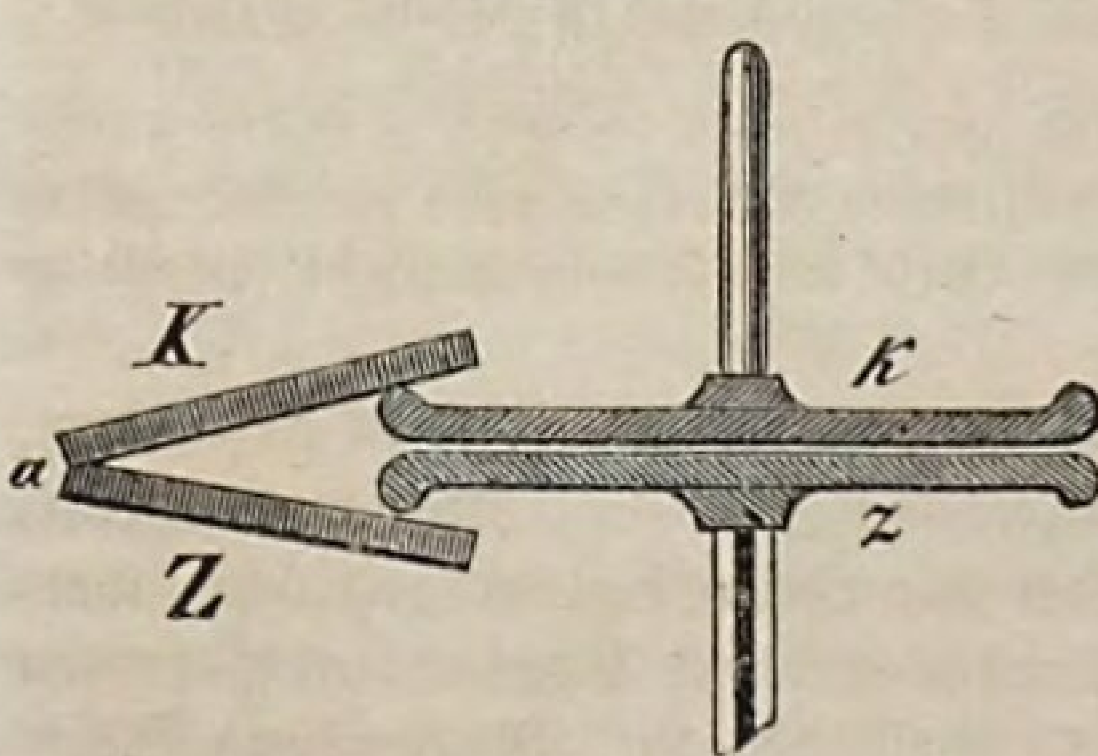
Darum zeigt das Elektroskop bei der unter (2) S. 423 angeführten Berührung des kupfernen Collectors mit der Zinkplatte unzweifelhaft die $+$ E der letzteren an; denn diese E kann ungehindert durch die Berührungsstelle in den Collektor übergehen und durch Neutralisirung der verhältnißmäßig nur sehr geringen Menge freier $-$ E, welche in dieser Platte zu Folge besagter Berührung vorhanden ist, nicht merklich geschwächt werden. Eben so kann das auf S. 423 in der Anmerkung besprochene Zusammenschrauben heterogener Metalle den Erfolg des Volta'schen Fundamentalversuches nicht wesentlich beeinträchtigen, weil dabei die nach Abheben der oberen Platte in der unteren frei gewordene Contact-Elektrizität die Zusammenschraubungsstellen ungestört passirt und die freie E, welche durch den daselbst stattfindenden Contact hervorgerufen wird, weit überwiegt. Andererseits leuchtet aber auch ein, daß es in vielen Fällen bei subtilen und genauen elektrischen Untersuchungen mittelst des Condensators zur Verhütung von Täuschungen nöthig sein wird, an letzteren jede Berührung ungleichartiger Stoffe zu vermeiden.

Denkt man sich von den zu Anfang des Paragraphes in Betracht gezogenen, sich berührenden, sonst aber isolirten zwei Stücken aus Zink und Kupfer das eine, z. B. das Kupferstück, immer mehr vergrößert oder mit einem beständig größer werdenden Leiter (unter in Bezug auf Elektrizitätserregung durch Contact indifferenten Umständen) in Berührung gebracht; so hat dies, weil da eine Mittheilung freier Elektrizität an die zugewachsene Masse von Seite des Kupfers vor sich gehen muß, eine fortwährende Abnahme der Dichte und Spannung der freien **E** in letzterem zur Folge, und diese Abnahme erreicht offenbar den höchsten Grad, wenn durch leitende Verbindung des Kupfers mit der Erde dessen Isolirung gänzlich aufgehoben wird:

es sinkt da die Dichte der freien — **E** des Kupfers auf Null herab; jene der freien + **E** des Zinkes nimmt aber (da die aus dem Kupfer in die Erde abgeflossene — **E** durch die Thätigkeit der elektromotorischen Kraft immer wieder ersetzt und daher gleichzeitig im Zink von Neuem ebenso viel + **E** frei gemacht wird), zu, und zwar so lange, bis sie die Größe der durch die elektromotorische Kraft bedingten elektrischen Differenz [man sehe (129) S. 425] erreicht hat, wo sich dann nichts mehr ändern kann, wenn auch die leitende Verbindung des Kupfers mit der Erde noch so lange fortdauert, weil die Elektrizität des Zinkes durch die Thätigkeit der genannten Kraft an dem Uebergange in das Kupfer und an dem Entweichen in die Erde gehindert wird .... (†††). Eben so müßte nach dieser Schlußweise offenbar das Zink alle freie Elektrizität verlieren und jene im Kupfer ein der elektrischen Differenz gleiches, constantes Maximum der Dichte erreichen, wenn dieses Metall isolirt und das Zink mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt würde.

Entzieht man nun dem isolirten Metalle (dem Zinke) durch seine Vereinigung mit irgend einem Leiter (**L**) Elektrizität; so wird diese durch die Thätigkeit der elektromotorischen Kraft sogleich wieder ersetzt ... (a) (es bewirkt diese Kraft nämlich abermals in beiden Metallen Zersetzung des natürlichen Zustandes und Abscheidung entgegengesetzter Elektrizitäten so lange, bis die eine den besagten Ersatz hergestellt hat, während die andere, in das nicht isolirte Metall getriebene, der Erde zugeflossen). Ist der erwähnte Leiter (**L**) die Collectorplatte eines Condensators (welche Platte, um jede Elektrizitätserregung durch deren Contact mit dem Zinke zu verhindern, auch aus Zink bestehen muß), so wird dieser (natürlich eine leitende Verbindung seines Deckels mit der Erde vorausgesetzt) sich so weit laden müssen, bis die freie **E** auf der Collectorplatte die nämliche Dichte hat, als die freie **E** auf dem mit dieser Platte vereinigten Erreger zu Folge elektromotorischer Thätigkeit überhaupt erreichen kann, und die Goldblättchen des mit dem Condensator vereinigten Elektrometers werden nach Abhebung des Condensator-Deckels eine der bewirkten Ladung entsprechende Divergenz zeigen .... (b). Hieraus und aus dem oben unter (a) Gesagten erklärt sich der stets ganz gleiche Erfolg des auf S. 424 unter (5) beschriebenen Volta'schen Versuchs. Besteht der Condensator-Deckel aus Kupfer (der nämlichen Rücksicht wegen, aus welcher die Collectorplatte aus Zink gewählt wurde), und man bringt mit demselben die Kupferseite des in Rede stehenden Erregerpaares in Berührung, während dessen Zinkseite die mit ihr gleichartige Collectorplatte berührt, beide Erreger auch unter sich im innigen Contacte stehen, übrigens aber isolirt sind (welche Anordnung die Fig. 392 zeigt), wo **Z**, **K** die bei a sich berührenden Erreger aus Zink und Kupfer, und **z**, **k** die mit diesen gleichartigen Condensatorplatten vorstellen);

Fig. 392.



so wird die + **E** des **Z** in der Platte **z**, die freie — **E** des **K** aber in der Platte **k** und zwar in beiden Platten an der sie trennenden Harzschichte bis zu der unter (b) bezeichneten Grenze condensirt, und der Condensator erfährt eine Ladung, welche, (wie man bei Anwendung der für dieses Instrument auf S. 420 gegebenen Theorie auf den vorliegenden Fall und unter Berücksichtigung des hier zunächst Vorhergehenden leicht einsieht) der elektrischen Differenz des Erregerpaares proportional ist, mithin deren relatives Maß darstellt ... (c) und welche sich, wenn man nach Entfernung des Erregerpaares vom Condensator den Deckel dieses letzteren abhebt, durch eine Divergenz der Goldblättchen kund gibt, die eben

so groß ist, wie im vorigen unter (b) betrachteten Falle, wo der Kupfertheil des Erregerpaares mit der Erde in leitender Verbindung gedacht wurde *).

Aus diesem Resultate folgt zunächst die Richtigkeit der oben unter (†††) S. 426 gemachten Voraussetzung, und hält man damit die unter (129) S. 425 gezogenen Schlüsse zusammen; so ergibt sich, daß die durch ein gegebenes Erregerpaar bewirkte Condensator-Ladung (es mögen beide Erreger mit den Condensatorplatten in Berührung oder einer derselben mit der Erde in leitender Verbindung stehen) seiner elektrischen Differenz proportional und auch zugleich das relative Maß der Stärke der elektromotorischen Kraft sei . . . . . . (130)

213. Gesetze der Voltaelektrischen Erregung. Die im Vorhergehenden beschriebenen und andere analoge Versuche (natürlich auch auf die andern Elektromotoren außer Zink und Kupfer ausgedehnt und demgemäß, so wie nach den sonstigen, für die Elektrizitätserregung durch Contact wichtigen Umständen modifizirt) führten zu folgenden Gesetzen und Hauptergebnissen **).

1. Bei einem gegebenen Erregerpaare ist die elektrische Differenz, d. h. der Unterschied der mit den betreffenden Zeichen + oder — genommenen Dichten der freien Elektrizitäten der Erreger eine constante Größe, unabhängig davon, ob die Erreger groß oder klein sind und in welchem Größeverhältniß sie unter einander stehen; ob sie sich in vielen Punkten, in nur wenigen oder auch nur in einem einzigen Punkte berühren; ob sie beide isolirt sind oder einer davon mit der Erde in leitender Verbindung steht, und ob sie endlich blos die durch ihren Contact erregte Elektrizität enthalten oder außerdem in ihnen auch noch eine andere (mitgetheilte, durch Reibung oder sonst ein Mittel hervorgerufene) Elektrizität vorhanden ist.

2. Der elektrische Zustand, in welchen ein Körper durch Berührung mit einem andern versetzt wird, hängt wesentlich von der Beschaffenheit des letzteren ab, und es lassen sich alle chemisch einfachen und auch viele chemisch zusammengesetzte Elektrizitätsleiter so in eine Reihe, welche den Namen Spannungsreihe führt, zusammenstellen, daß je ein Glied derselben durch Contact mit einem darin nachfolgenden Gliede negativ, (also letzteres positiv) und in Berührung mit einem vorhergehenden Gliede positiv, (dieses aber negativ) elektrisch wird; daß ferner die elektrische Differenz für je zwei Glieder der Reihe desto größer ist, je weiter sie darin auseinander stehen, und daß diese Differenz immer der Summe der Differenzen aller Zwischenglieder gleichkommt, so daß wenn man z. B. irgend 3 Glieder aus der Reihe herausnimmt, die Differenz der beiden äußern unter sich gleich ist der Summe der Differenzen, welche das mittlere mit jedem der äußeren hervorruft. . . . . (131)

Die wichtigsten der in die Spannungsreihe gehörigen Stoffe, welche Leiter erster Ordnung genannt werden, während die dem Gesetz dieser Reihe sich

---

*) Am bequemsten lassen sich die unter (b) und (c) besprochenen Versuche anstellen, wenn man die Collectorplatte z (aus Zink) selbst zu den einen Erreger und einen damit in Contact gebrachten Draht oder Streifen aus Kupfer zum zweiten Erreger macht. Hält man den Draht oder Streifen, während er mit dem einen Ende den Zinkcollector berührt, in der Hand, so hat man den Fall (b); biegt man ihn aber zu einem Bogen, so daß er mit einem Ende den Zinkcollector und mit dem andern den Kupferdeckel des Condensators berührt, während man ihn an einem etwa in seiner Mitte angebrachten isolirenden Handgriffe hält, so hat man den zweiten Fall (c).

**) Wo diese Versuche entweder keine oder nicht verläßliche Resultate gaben, z. B. weil in manchen Fällen die Dichten und Spannungen der freien Volta-Elektrizitäten sich so gering zeigten, daß zu ihrer Beobachtung und Vergleichung selbst die wirksamsten einfachen Condensatoren nicht mehr hinreichten u. s. w., wurden bei Feststellung der anzuführenden Gesetze und Hauptergebnisse andere Mittel in Anwendung gebracht, deren Besprechung aber theils hier zu weit führen würde, theils erst später Vorkommendes voraussetzt.

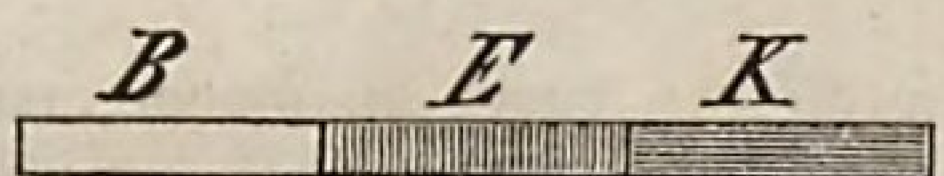
nicht fügenden Elektrizitätsleiter Leiter zweiter Ordnung heißen, sind und zwar in der oben besagten Aufeinanderfolge: Sauerstoff, Kohle, Platin, Gold, Quecksilber, Silber, Antimon, Kupfer, Wismuth, Eisen, Zinn, Blei, Zink, Wasserstoff. Es wird sonach z. B. Eisen im Contacte mit Kupfer positiv und letzteres negativ, in Berührung mit Zink aber negativ, dieses hingegen positiv elektrisch, und die elektrische Differenz ist eine größere zwischen Zink und Platin als zwischen Zink und Kupfer.

Nach Kohlrausch's neuesten Untersuchungen sind, die elektrische Differenz zwischen Kupfer und Zink = 100 gesetzt, die elektrischen Differenzen zwischen den nachstehenden Metallen folgende: Platin und Zink 107; Gold und Zink 112·7; Silber und Zink 105·6; Eisen (einer mit Eisen überzogenen Messingplatte) und Zink 74·7; Eisen und Kupfer 31·9; Eisen und Platin 32·3; Eisen und Gold 39·7; Eisen und Silber 29·8; Zinn und Kupfer 42·3. Diese Ergebnisse, mit Ausnahme der Zahl für Eisen und Kupfer, stehen mit dem Spannungsgesetze (131) ganz im Einklange.

Der unter (131) ausgesprochene letzte Satz des 2. Gesetzes folgt aus der Erfahrung, daß die elektrische Differenz der Endglieder einer beliebigen Folge einander berührender Leiter der ersten Ordnung gerade so groß ist, als ob diese beiden Endglieder in unmittelbarem Contacte stünden und alle Zwischenglieder fehlten. (132)

In der That erhält man an dem in der früheren Figur 392 dargestellten Zink-Kupfer-Condensator stets eine gleich starke Ladung (die nämliche Divergenz der Goldblättchen nach Abhebung des Deckels), man mag den Zink-Collector z. B. mit einem in der Hand gehaltenen Kupferstreifen unmittelbar oder mit einem aus Blei, Eisen und Kupfer zusammengesetzten Streifen **BEK** (Fig. 393), und zwar mit dem Bleiende **B** berühren. In diesem Falle wird nämlich der Condensator [nach (130) S. 427 und (6) S. 425] nicht blos durch die, der elektrischen Differenz **ZB** zwischen Zink und Blei entsprechende freie **E** geladen, sondern es fließen demselben auch die freien Elektrizitätsmengen zu, welche den, durch gleichzeitige elektromotorische Thätigkeit an den Contactstellen zwischen **B** und **E**, **E** und **K** hervorgerufenen elektrischen Differenzen **BE** und **EK** zwischen Blei und Eisen und dann zwischen Eisen und Kupfer entsprechen, (da eben nach (6) S. 425 von den an **B**, **E** und **K** frei auftretenden Elektrizitäten die negativen in der Richtung von **B** nach **K** und die positiven in umgekehrter Richtung sich über den zusammengesetzten Metallstreifen wie über einen gleichartigen Leiter verbreiten, somit erstere der Hand und der Erde, letztere aber dem Collector ungehindert zufließen können), so daß die Condensator-Ladung der Summe der elektrischen Differenzen **ZB + BE + EK** proportional ist.

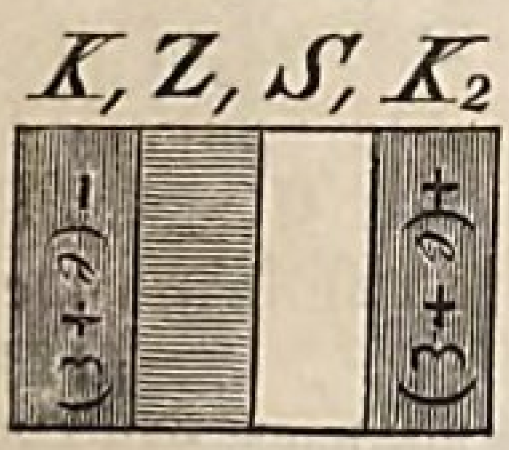
Fig. 393.



Nun wird aber dem Vorhergehenden zu Folge diese Ladung durch die Erfahrung eben so groß nachgewiesen, wie in dem Falle, wo die Berührung des Zink-Collectors mit dem Kupferstreifen unmittelbar geschieht und daher die Condensator-Ladung der elektrischen Differenz **ZK** zwischen Zink und Kupfer allein proportional ist; es besteht daher die Gleichung **ZB + BE + EK = ZK**, die den obigen Satz (131) darstellt. Aus dem Erfahrungsergebnisse (132) erhellet auch, daß die elektrische Differenz, welche heterogene Metalle bei bloßer Berührung unter einander annehmen, durch Zusammenlöthen derselben nicht geändert werde, und daß eine Kette, die aus was immer für einer Zahl im Contacte stehender und beliebig wechselnder Leiter der ersten Ordnung gebildet ist, sich gar nicht elektrisch zeigen könne, wenn ihr erstes und letztes Glied von der nämlichen materiellen Beschaffenheit sind . . . . (†). Die oben aufgezählten Glieder der Spannungsreihe sind lauter chemisch einfache Stoffe, wir wissen aber bereits aus dem 2. Spannungsgesetze, daß darin auch viele chemisch zusammengesetzte Körper einen Platz finden. Dies ist z. B. mit Eisenoxyd, Braunstein, Schwefelblei, Schwefeleisen u. s. w. der Fall.

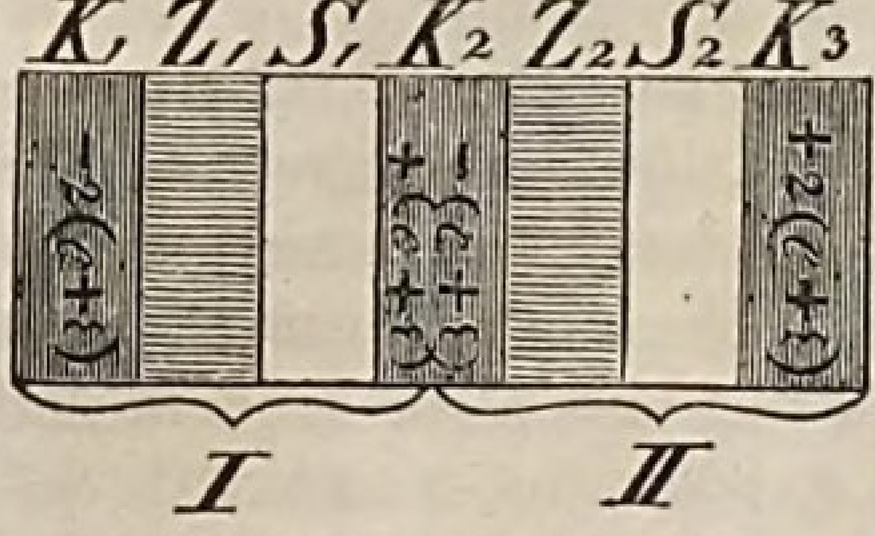
Was die Erreger anbelangt, welche den Bedingungen der Spannungsreihe nicht entsprechen, also nur Leiter zweiter Ordnung sind, so genügt es hier blos die elektromotorische Wirkung einiger derselben, namentlich einiger Flüssigkeiten, als: des Wassers, einiger Säuren, Salz- und alkalischer Lösungen auf Metalle, vorzüglich auf Zink, Eisen, Kupfer, Silber und Platin insoweit herauszuheben, als es zum gehörigen Verständniß des Folgenden nöthig ist. Das Wesentliche dessen, was in dieser Beziehung durch Versuche festgestellt worden ist, läßt sich kurz in Nachstehendem zusammenfassen. Zink wird in Berührung mit jeder der eben genannten Flüssigkeiten negativ und die Flüssigkeit positiv elektrisch. Kupfer wird durch Wasser und manche Salzlösungen ebenfalls negativ erregt, nur weit schwächer als Zink; in anderen Lösungen wird es positiv. Schwefelsäure und Salpetersäure im verdünnten Zustande machen Zink, Eisen und Kupfer im abnehmenden Grade negativ .... (a), Silber und Platin aber positiv elektrisch. Durch concentrirte Salpetersäure werden Platin, Silber, Kupfer, Eisen (überhaupt alle Metalle ohne Ausnahme) positiv erregt. Mit concentrirter Schwefelsäure werden Platin und Kupfer (auch Gold) positiv, die übrigen Metalle dagegen negativ; auf gleiche Weise verhält sich starke Salzsäure. Platin scheint mit allen Säuren und Salzauflösungen positiv elektrisch zu werden. In ähnlicher Art findet nun auch elektrische Erregung der übrigen Leiter der ersten Ordnung durch Leiter der zweiten Ordnung und umgekehrt Statt. In allen solchen Fällen wird jedoch das oben unter (132) ausgesprochene Gesetz nicht beobachtet; es ist nämlich in einer aus Leitern der ersten und zweiten Ordnung zusammengesetzten Kette die Größe der elektrischen Differenz ihrer Endglieder nicht mehr allein von der Natur der letzteren, sondern auch von der Natur, der Anzahl und Aufeinanderfolge der Zwischenglieder abhängig, und eine solche Kette, worin das erste und letzte Glied gleichartig sind, kann anstatt, dem angeführten Gesetze gemäß, ganz unelektrisch zu sein, sogar eine stärkere elektrische Ladung zeigen, als die in der Kette enthaltenen Leiter erster Ordnung allein, untereinander im Contacte, je erreichen können. Dieses Verhalten macht die Construction Voltaelektrischer Ketten mit sehr großer elektrischer Differenz der Endglieder, möglich. Wie, wird für alle künftig vorkommenden Fälle aus dem hier folgenden, mit Kupfer und Zink (als Leiter der ersten Ordnung) und verdünnter Schwefelsäure (als Leiter zweiter Ordnung) durchgeführten Beispiele klar werden. Es stelle in Fig. 394 K_1 Kupfer, Z_1 Zink, S_1 verdünnte Schwefelsäure und K_2 wieder Kupfer vor. Bringt man das Ende K_1 dieser Kette mit der einen und das Ende K_2 mit der andern der zwei aus Kupfer bestehenden Platten eines Condensators in Verbindung; so zeigt dieser, obgleich die Kette mit demselben Stoffe schließt, mit dem sie anfängt, (also nach dem 2. Spannungsgesetze ganz unelektrisch sein sollte) sogar eine stärkere elektrische Ladung, als Kupfer und Zink für sich allein überhaupt zu bewirken vermag. Die Ursache hievon liegt darin, daß zu den durch die Berührung von K_1 und Z_1 hervorgerufenen freien Elektrizitäten, wovon die negative (sie werde mit $-e$ bezeichnet) in K_1 auftritt und die positive $(+e)$ aus dem Zinke sich durch die Schwefelsäure S_1 hindurch frei über K_2 verbreiten kann [gemäß (6) S. 425], noch die Elektrizitäten hinzukommen, die beim Contacte der Schwefelsäure mit dem Zinke Z_1 und dem Kupfer K_2 frei werden. Dem K_1 fließt nämlich vom Zinke auch die aus dessen Contact mit S_1 entspringende $-e_1$ (des Zinkes) und die durch Berührung von S_1 mit K_2 erzeugte freie $+e_2$ des ersteren zu, und nach K_2 gehen noch ungehindert die aus dem Contacte von Z_1 mit S_1 resultirende $+e_1$ des letzteren und die vom Contacte des K_2 mit S_1 herkommende $-e_2$ des ersteren über, so daß in K_1 die Elektrizitäten $-e$, $-e_1$, $+e_2$ und in K_3 die Elektrizitäten $+e$, $+e_1$,

Fig. 394.



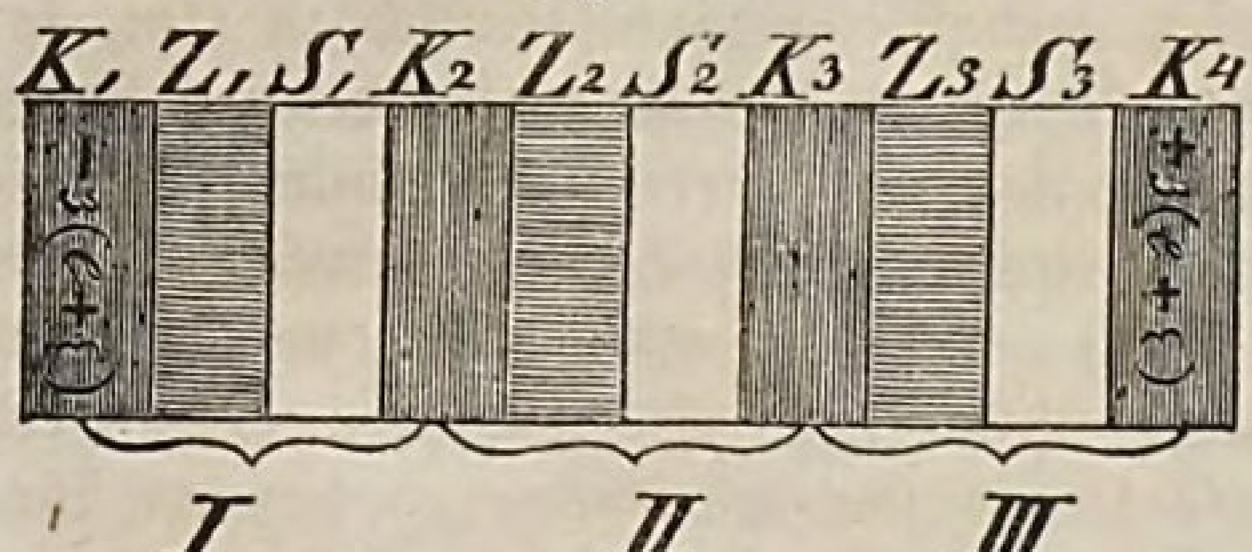
— e_2 vorhanden sind, oder wenn man, (da zu Folge (a) S. 429 die Dichtigkeiten — e_2 und + e_2 kleiner sind als — e_1 und + e_1), die nach partieller Neutralisirung des — e_1 durch + e_2 und des + e_1 durch — e_2 bleibenden Reste mit — ε und + ε bezeichnet, die angehäufte Elektrizität in K_1 die Dichte $-e-\varepsilon=-(e+\varepsilon)$ und jene in K_2 die Dichte $+(e+\varepsilon)$ (Fig. 394) besitzt, mithin die elektrische Differenz zwischen K_1 und K_2 $(e+\varepsilon)-[-(e+\varepsilon)]=2\,(e+\varepsilon)$ beträgt, während die, durch Kupfer und Zink allein erreichbare Differenz nur 2e ist. Verbindet man mit der betrachteten Combination eine zweite ganz gleiche oder reiht man, was offenbar gleichbedeutend ist, an K_2 wieder Z_2, verdünnte Schwefelsäure S_2 und Kupfer K_3 an (Fig. 395); so strömt die Elektrizität $-(e+\varepsilon)$,

Fig. 395.



welche das Kupfer K_2 zu Folge Volta'scher Erregung in der Combination II erhält, durch S_1, Z_1 dem Kupfer K_1 zu, vermehrt die darin ohnehin schon vorhandene $-(e+\varepsilon)$ auf $-2\,(e+\varepsilon)$, und die durch die elektromotorische Thätigkeit der Combination I entwickelte, freie $+(e+\varepsilon)$ in K_2 geht ungehindert durch Z_2 und S_2 nach dem Kupfer K_3 über und steigert die $+(e+\varepsilon)$, welche dieses Metall, zu Folge der vorbesagten Erregung in II schon enthält, auf $+2\,(e+\varepsilon)$, so daß die Dichte der freien negativen Elektrizität in $K_1=-2\,(e+\varepsilon)$ und jene der freien positiven in $K_3=+2\,(e+\varepsilon)$, mithin die elektrische Differenz der Endglieder der Kette $=+4\,(e+\varepsilon)$ ist. Bei Anreihung einer Combination III (Fig. 396) fließt natürlich die in K_3 angehäufte freie $-(e+\varepsilon)$ dieser Combination wieder nach K_1 und die durch die Thätigkeit der Combinationen I und II in K_3 hervorgerufene

Fig. 396.



$+2(e+\varepsilon)$ strömt zu der im Kupfer K_4 zu Folge elektromotorischer Thätigkeit der Combination III vorhandenen hinzu und es steigt daher die Dichte der freien Elektrizität in K_1 auf $-3\,(e+\varepsilon)$ und in K_4 auf $+3\,(e+\varepsilon)$, somit die elektrische Differenz der Endglieder der Kette auf $6\,(e+\varepsilon)$, und man sieht schon, daß bei einer aus 4, 5, . . . n solchen Combinationen zusammengesetzten Kette die Dichten der Elektrizitäten in den Endgliedern $+4\,(e+\varepsilon)$ und $-4\,(e+\varepsilon)$, $5\,(e+\varepsilon)$ und $-5\,(e+\varepsilon)$, ... $n\,(e+\varepsilon)$ und $-n\,(e+\varepsilon)$, daher die elektrischen Differenzen dieser Glieder $8\,(e+\varepsilon)$, $10\,(e+\varepsilon)$, . . . $2n\,(e+\varepsilon)$ betragen müssen, daß demnach die besagten Dichten überhaupt mit der Anzahl der zur Kette verbundenen Combinationen (mit verdünnter Schwefelsäure abwechselnder Kupfer-Zinkpaare) in geradem Verhältnisse stehen und nur von dieser Anzahl abhängen . . . . . (133) und daß der, mittelst einer derartig zusammengesetzten Kette erreichbare Verdichtungsgrad entgegengesetzter Elektrizitäten unbegrenzt sei. Da, wenn die in der Kette vorhandenen freien Elektrizitäten abgeleitet werden, die beständig thätige elektromotorische Kraft sie augenblicklich wieder ersetzen muß, so ist eine gehörig zusammengesetzte elektrische Kette eine sehr ergiebige und anhaltende Quelle beider Elektrizitäten; ja sie wäre unerschöpflich, wenn sich gewisse später zu besprechende Umstände, welche der Wirksamkeit der Kette über kurz oder lang ein Ende machen, ganz beseitigen ließen. Daß die elektrische Kraft der Säule übrigens je nach der Natur der Stoffe, aus welchem sie besteht, verschieden ist, bedarf nach dem im vorhergehenden Gesagten keiner weiteren Erwähnung. Offenbar ist sie unter sonst gleichen Umständen größer, wenn man z. B. anstatt Kupfer, Platin oder Kohle (die sich gegen Säuren dem Platin analog verhält) anwendet, weil Zink und Platin oder

Zink und Kohle in der Spannungsreihe weiter auseinander stehen als Zink und Kupfer, daher eine größere elektrische Differenz annehmen als das letztgenannte Paar; hingegen kleiner, wenn bei denselben Zink-Kupfer-Paaren, anstatt verdünnter Schwefelsäure Wasser den Leiter zweiter Ordnung bildet, weil diese Flüssigkeit die besagten Metalle schwächer elektrisch anregt, als die erstere. Es folgt nach (†††) S. 426 von selbst, daß wenn man das eine Ende einer solchen Kette mit der Erde in leitende Verbindung setzt, die Dichte der Elektrizität am anderen (isolirten) Ende der elektrischen Differenz beider Endglieder gleich, also doppelt so groß werden müsse, als vorher. Offenbar wird an diesem Sachverhalte durch Weglassung des vereinzelten Metalls K_4 und der angrenzenden Flüssigkeitsschichte S_3, so daß die Kette einerseits mit Kupfer (K_1) und andererseits mit Zink (Z_3) endigt, nichts wesentlich geändert, da mit dem genannten Metall- und Flüssigkeitsgliede aus der Kette nur die ohnehin schwache Erregung wegfällt, welche dieses Flüssigkeitsglied mit den zwei angrenzenden Metallen bewirkt, übrigens S_3 und K_4 der auf Z_3 sich ansammelnden Elektrizität nur als Leiter dienen. Die beiden Enden einer zusammengesetzten Kette nennt man ihre Pole und zwar das Ende, an welchem die freie + E verdichtet erscheint, den positiven Pol und das andere Ende, welches die verdichtete — E enthält, den negativen Pol.

Bei einer Kette, wo, wie bei jener der Fig. 396 nach Hinweglassung der Glieder K_4 und S_3, das eine der äußersten (aus Leitern der ersten Ordnung gebildeten) Erregerpaare mit Zink, das andere mit Kupfer endigt, heißt der + Pol mit Recht auch Zinkpol und der — Pol Kupferpol.

214. Elektrische Säulen. Volta'sche Batterien. Die einfachste und auch die älteste Form einer zusammengesetzten elektrischen Kette ist die einer Säule, welche erhalten wird, wenn man eine Anzahl gleich großer Kupfer- und Zinkplatten so übereinander legt, daß immer auf eine Kupferplatte eine Zinkplatte (oder umgekehrt) folgt und jedes Kupfer-Zinkpaar von dem nächsten durch eine mit Wasser, einer Koch- oder andern Salzlösung oder einer verdünnten Säure getränkten Papp-, Tuch- oder Filzscheibe getrennt ist. Es ist bequem die für eine solche elektrische Säule, welche nach ihrem Erfinder Volta vorzugsweise die Volta'sche Säule heißt, bestimmten Metallplatten paarweise (immer eine Kupfer- und eine Zinkplatte) zusammenzulöthen und die Säule, um ihr die gehörige Standfestigkeit zu geben, sie auch nach Bedürfniß isolirt anwenden oder an dem einen Ende mit der Erde leitend verbinden zu können, zwischen Stäben von Glas (damit nämlich durch diese die Plattenpaare nicht unter einander in leitende Verbindung gesetzt werden) und auf einem isolirten Stative aufzubauen, wie es die Fig. 397 und 398 zeigen, wo (in Fig. 398 in größerem Maßstabe) k, k . . . . die Kupfer- z, z . . . . die Zinkplatten l, l . . . . die mit einer der genannten Flüssigkeiten durchnäßten Tuch- oder Pappscheiben, b einen isolirenden Untersatz und s, s.. die Glasstäbe vorstellen. Der Uebelstand, daß bei dieser Säule, wenn die Anzahl der Erregerpaare (der Volta'schen Elemente) eine größere ist, die Flüssigkeit durch das Gewicht der oberen Paare aus den untern Papp- oder Tuchscheiben ausgepreßt wird, längs der Säule an ihrer Oberfläche herabrinnt, und durch Herstellung einer leitenden Verbindung zwischen den einzelnen Plattenpaaren die Wirkung der Säule bedeutend schwächt oder sogar aufhebt, nebstdem auch noch vorzüglich der Umstand, daß

Fig. 397.

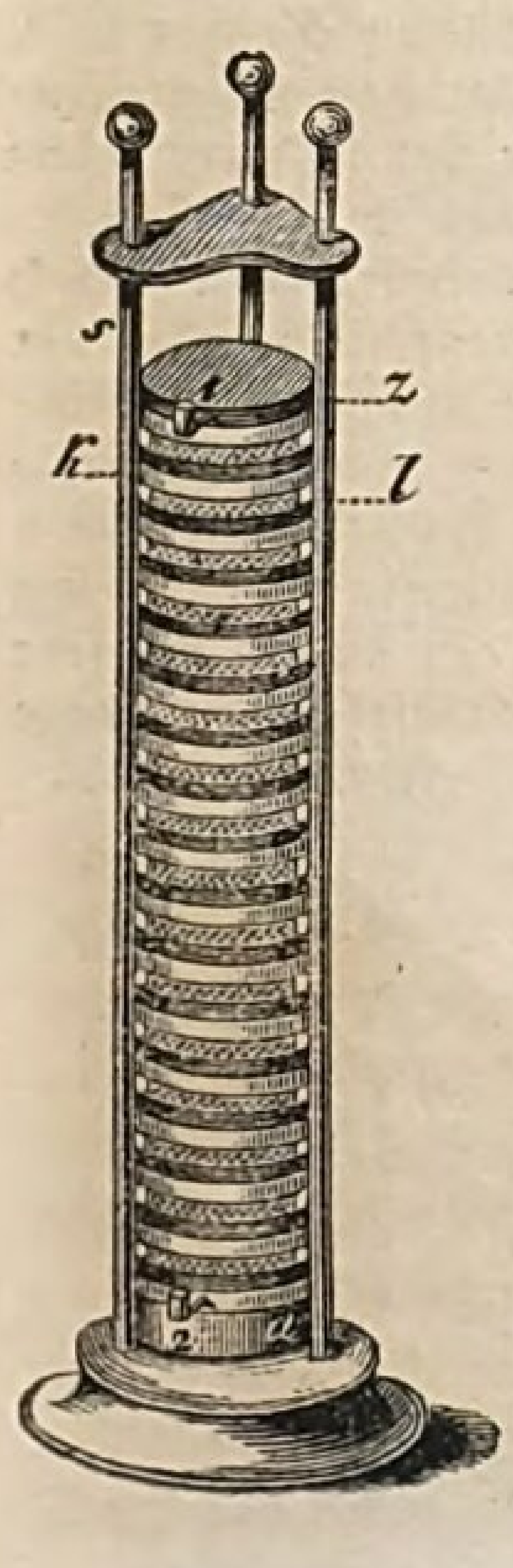


Fig. 398.

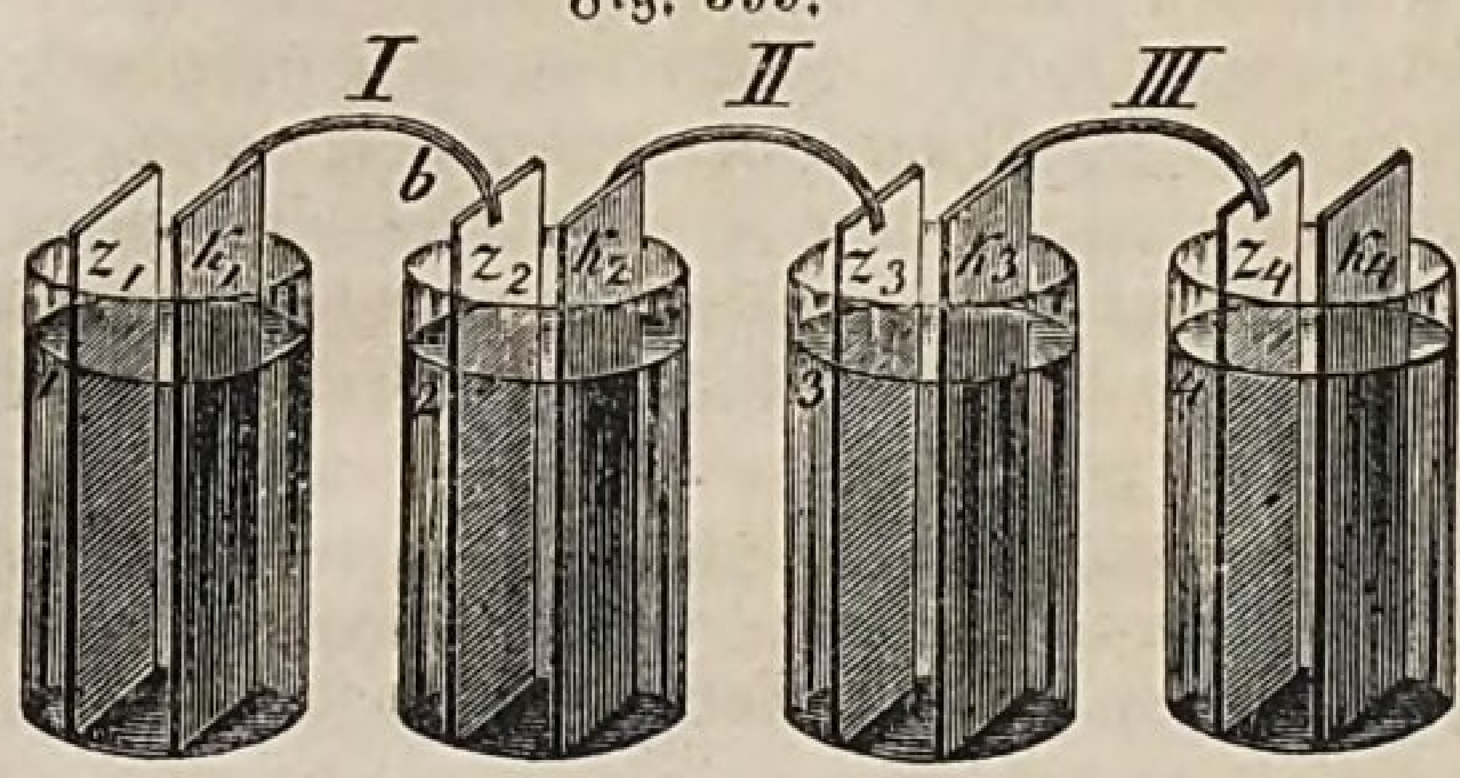


die Papp-, Tuch- oder Filzscheiben nur sehr wenig Flüssigkeit enthalten können, die Wirksamkeit der Säule daher (und der Grund hievon wird später klar werden) nur von kurzer, in vielen Fällen nicht hinreichender Dauer sein kann, führten bald zu andern Formen der zusammengesetzten Kette, in welchen diese, obgleich jede Aehnlichkeit mit einer Säule fehlt, dennoch den Namen „elektrische oder Volta'sche Säule" beibehielt, gewöhnlicher und treffender aber „Volta'sche Batterie" genannt wird.

Wir wollen von diesen Formen, da sie in der letzteren Zeit wieder durch andere Constructionen, von denen aber erst in der Folge gehandelt werden kann, in den Hintergrund gerückt, ja beinahe ganz verdrängt worden sind, hier nur einige wenige beschreiben; es sind:

1. Der Becherapparat. Er besteht, wie Fig. 399 zeigt, aus einer Anzahl gläserner (runder oder länglich viereckiger) Gefäße (Becher) 1, 2, 3, 4 u. s. w., wovon jedes mit der zur Batterie bestimmten Flüssigkeit entsprechend weit angefüllt ist, ferner eine Kupfer- und eine Zinkplatte $k_1\ z_1$, $k_2\ z_2$, $k_3\ z_3$, $k_4\ z_4$, u. s. w. enthält, welche aus der Flüssigkeit hervorstehen und sich (in einem und demselben Becher) nirgends berühren, unter einander aber so im Contacte stehen, daß die Kupferplatte des einen Bechers immer mit der Zinkplatte des nächstfolgenden durch einen Kupferblechbogen b vereinigt ist. Man sieht, daß hier ganz dieselbe Anordnung vorhanden ist, wie bei der Säule der Fig. 397, nämlich Kupfer-Zinkpaare (Elemente) I, II, III u. s. w. oder $k_1\ z_2$, $k_2\ z_3$, $k_3\ z_4$ u. s. w., deren jedes von dem nächstfolgenden durch eine Flüssigkeitsschichte (die Paare I, II durch die Flüssigkeit im Becher 2, die Paare II, III durch die Flüssigkeit im Becher 3 u. s. w.) getrennt ist. Die Pole sind die Zinkplatte z_1 und die Kupferplatte k_4 und zwar erstere der negative und letztere der positive.

Fig. 399.



2. Der Oersted'sche Trogapparat, bei welchem die Kupferplatten der Säule selbst die Gefäße zur Aufnahme des flüssigen Leiters bilden. Er besteht, — wie man in Fig. 400 sieht, die einen solchen, 5 Elemente in hölzernem Postamente zählenden Apparat vorstellt, — aus schmalen, parallelepipedischen Trögen k, k u. s. w. von Kupferblech, welche den betreffenden flüssigen Leiter enthalten und in deren jedem eine Zinkplatte z so steht, daß sie den Kupfertrog an keinem Punkte berührt (gewöhnlich wird die Berührung durch auf die 4 Ecken der Zinkplatte gesteckte hölzerne Klötzchen a verhindert). An jeder Zinkplatte und an der einen Seite jedes Kupfertroges ist ein Kupferblechstreifen 1 und 2 festgelöthet, und es wird in der Richtung von einem Endtroge gegen den andern hin jede Zinkplatte immer mit dem nächstfolgenden Troge dadurch in Contact gebracht, daß man den an der Platte und den am Troge angelötheten Kupferstreifen mittelst einer über beide gesteckten federnden Metallklammer b in innige Berührung bringt, wie dies die Fig. 401 an einem abgesonderten Zink-Kupferpaare deutlicher zeigt. Die Verbindung immer einer Zinkplatte mit dem nächsten Kupfertroge wird häufig auch dadurch bewerkstelligt, daß ein an der Zinkplatte festgelötheter und zweimal rechtwinklig umgebogener Kupferblechstreifen m Fig. 402) mit dem Ende in einen an der

Fig. 400.

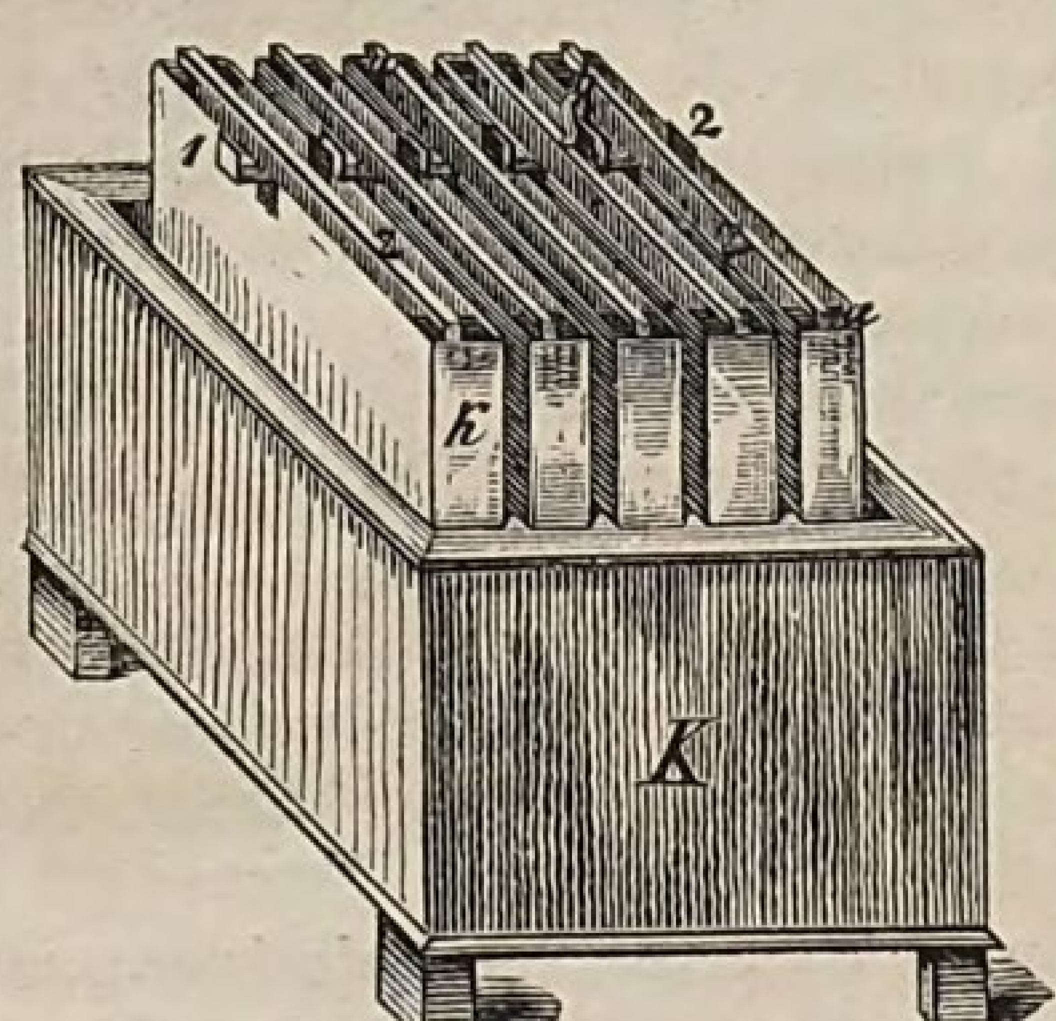


Fig. 401.

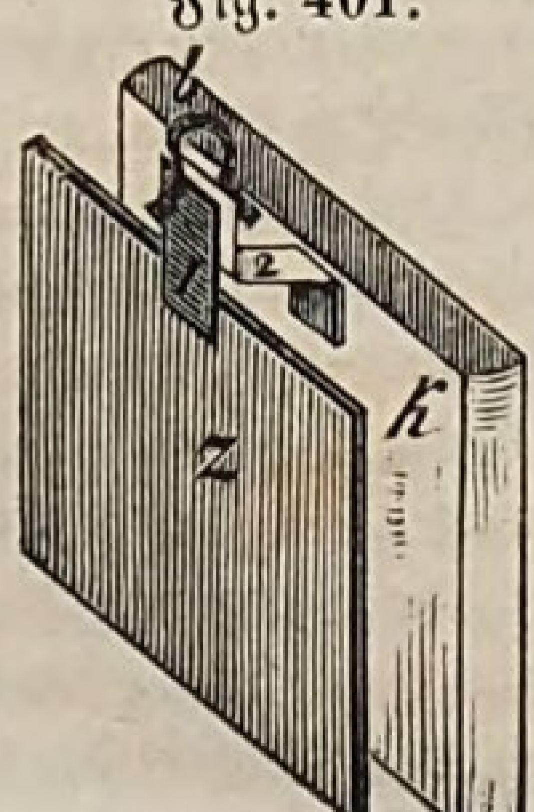
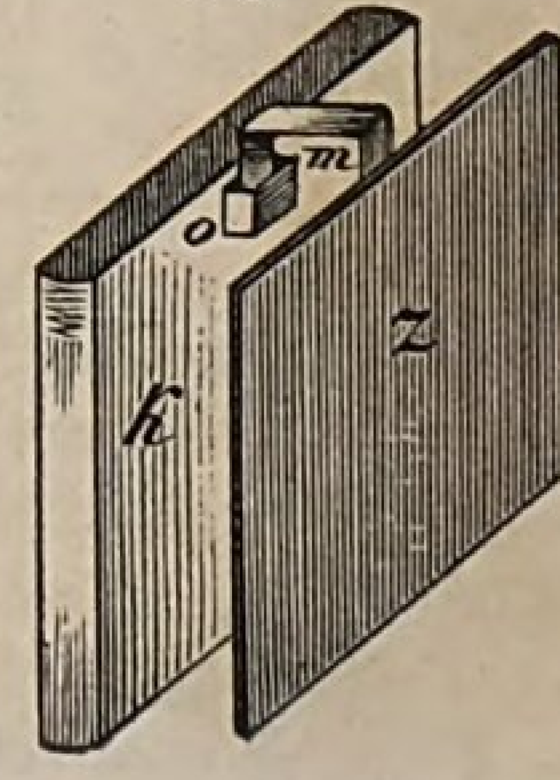


Fig. 402.



Seite des Troges befestigten (hart angelötheten) kleinen kupfernen Napf oder Becher o gesteckt und unter darin enthaltenes Quecksilber getaucht wird. Daß die besprochenen Bögen oder Streifen, die zur Verbindung des Zink- und Kupfertheiles jedes Volta'schen Elementes dienen, auch aus einem andern Metalle als Kupfer bestehen könnten und dieses andere Metall eben so wenig als das Quecksilber in den eben erwähnten Näpfen eine Aenderung in der Wirkung der Säule verursachen würde, ist nach (132) und (†) S. 428 für sich einleuchtend.

3. Wollaston's Trogapparat. Bei diesem sind die Kupferplatten k doppelt so groß als die Zinkplatten z und um die untere Kante dieser letzteren herumgebogen; jede Zinkplatte ist von der sie umgebenden Kupferplatte durch etwa an den Ecken zwischen beide eingesetzte Holzklötzchen a geschieden und hängt mit der um die nächste Zinkplatte herumgebogenen Kupferplatte durch einen angelötheten Metallbogen b zusammen (Fig. 403). Alle so gebildeten Elemente sind an einer Holzleiste l (durch Festschrauben der Bögen b an derselben) befestigt (Fig. 404) und lassen sich demnach zusammen gleichzeitig in einen mit Zellen 1, 2, 3 u. s. w. versehenen und den flüssigen Leiter enthaltenden Trog T aus Porzellan, Steingut oder glasirtem Thone versenken, und eben so nach gemachtem Gebrauche der Säule wieder gleich schnell aus dem Troge herausheben.

Fig. 403.

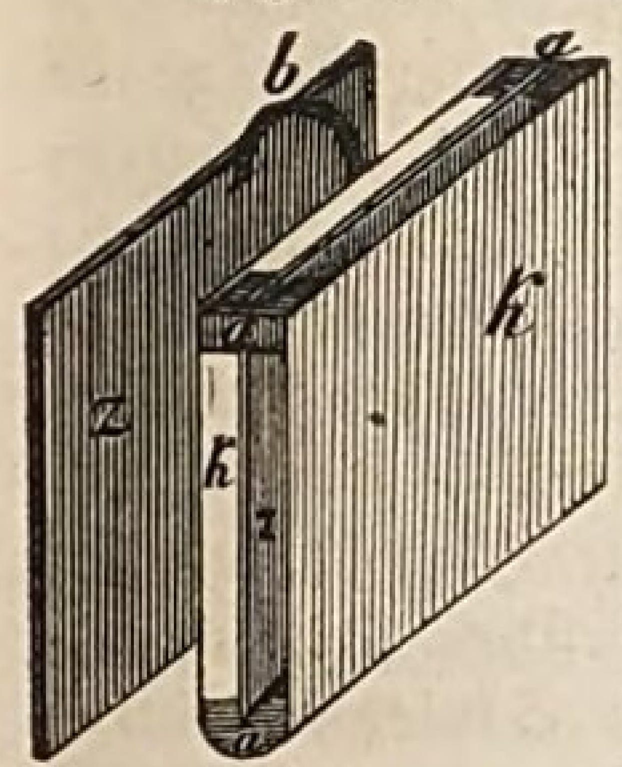
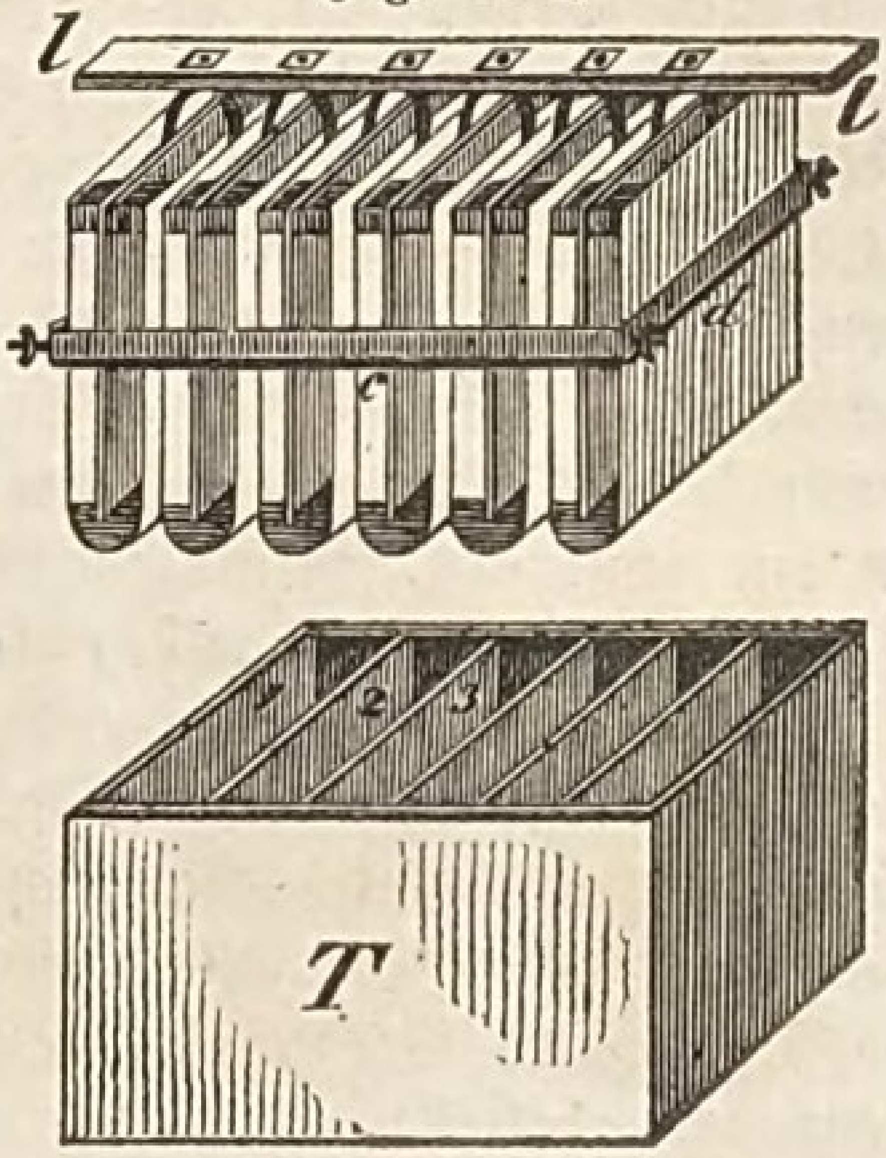


Fig. 404.



Ist jede der umgebogenen Kupferplatten von der nächsten durch eine Lage compacten Pappendeckels oder doppelt genommenen Kartenpapiers getrennt, an jedes Ende des ganzen Systems ein Bretchen angelegt, und werden diese Bretchen (mittelst eines aus 4 Holzstäben gebildeten, horizontal über die Bretchen hingehenden Rahmens cd, dessen zwei Längenstäbe c, c an den Enden Schrauben haben, um den einen Querstab d näher oder weniger nah an den zweiten stellen zu können) so gegen einander gezogen, daß die Pappendeckel- oder Kartenpapierlagen zwischen den Kupferplatten möglichst fest eingepreßt sind, man senkt dann ferner die ganze Plattenreihe in einen, den flüssigen Leiter enthaltenden Trog (natürlich ohne Zellen) ein; so hat man den Faraday'schen Trogapparat.

Je zwei in den betrachteten Batterien vorhandene Metallplatten, die nur durch die verdünnte Schwefelsäure mit einander leitend verbunden sind, (wie dies z. B. bei jedem in einem und demselben Glasgefäße stehenden Zink-Kupfer-Paare der durch Fig. 399 dargestellten Batterie oder mit jedem Kupfertroge und der darin befindlichen Zinkplatte an der Batterie Fig. 400 nach Hinwegnahme der zur leitenden Verbindung der einzelnen Gefäße und der einzelnen Tröge dienenden Bögen oder Klemmen b der Fall ist) bilden, wie wenn sie einander unmittelbar berühren, eine einfache elektrische Kette; denn da Zink und Kupfer im Contacte mit verdünnter Schwefelsäure nach (a) S. 429 negativ elektrisch werden, Kupfer aber schwächer als Zink, so überwiegt die freie +E, welche die Schwefelsäure durch die Berührung mit dem Zinke erhält, und welche dem Kupfer zufließt, die durch eben diese Flüssigkeit im Kupfer erregte —E, und im letzteren muß daher nach Neutralisirung dieses —E noch freie + übrig bleiben, so daß von den zwei nur durch die Säure leitend verbundenen Metallen an den von Flüssigkeit freien Stellen das Zink freie —E und das Kupfer freie +E zeigt . . . (1).

An die eben betrachteten, je aus 2 Metallen und einer Flüssigkeit bestehenden galvanischen Apparaten wären nun die aus 2 tropfbaren Flüssigkeiten und einem Metalle gebildeten galvanischen Ketten und unter diesen vorzüglich die von Becquerel angegebene, endlich die Grove'sche Gaskette anzureihen; wir behalten uns jedoch die Beschreibung und weitere Betrachtung dieser so wie noch einiger anderer Ketten bis an Plätze vor, wo wir dieselben insbesondere auch in theoretischer Beziehung besser zu würdigen im Stande sein werden . . (134)

215. Trockene elektrische Säulen. Außer den bisher besprochenen (wegen der Anwendung von Flüssigkeiten als wesentlichen Bestandtheil dabei sogenannten) nassen elektrischen Säulen oder Hydrosäulen wurden auch mehrere trockene (aus lauter festen Körpern bestehende) gebaut, von welchen, obgleich sie alle im Verhältniß zu den nassen sehr wenig wirksam sind, doch die von Zamboni construirte darum einer genaueren Betrachtung unterzogen werden muß, weil sie einen Haupttheil des im Vorhergehenden bereits als sehr nützlich und wichtig anerkannten Boh-

nenberger'schen und Fechner'schen Elektroskopes ausmacht und sich auch vorzugsweise zum Studiren des Verhaltens der elektrischen Säule im Zustande des Gleichgewichtes (wovon später die Rede sein wird) eignet. Ihre Construktion ist folgende: Man leimt eine (gewöhnlich kreisrunde, ½ — 2 Zoll im Durchmesser haltende) Scheibe aus unechtem Goldpapier und eine aus unechtem Silberpapier mit den Papierflächen zusammen, so daß man eine Doppelscheibe erhält, die auf der einen Seite mit einem dünnen Ueberzuge von Kupfer, auf der andern von Zinn versehen ist, (da der Metallüberzug bei unechtem Goldpapier vorzüglich aus Kupfer und bei unechtem Silberpapier aus Zinn besteht) reiht dann eine große Zahl (500—2000) solcher vorher an der Luft ziemlich getrockneten Doppelscheiben so aneinander, daß immer die Zinnfläche der einen die Kupferfläche der nächstfolgenden deckt *) und schließt die ganze Reihe, welche mittelst zweier an den Enden angebrachter und durch Seidenschnüre gegen einander gezogener Metallscheiben zusammengehalten wird, um den weitern Einfluß der Luft abzuhalten, luftdicht in ein innerlich gefirnißtes Glasrohr ein, das beiderseits Metallfassungen hat, die mit den Metallscheiben in leitender Verbindung stehen. Die eine Fassung bildet dann den positiven und die andere den negativen Pol der Säule, und beide Pole äußern dann jahrelang eine sehr merkliche elektrische Spannung (die wir vorläufig als gleich stark annehmen wollen,) wie die Divergenz der Goldblättchen an einem gewöhnlichen Elektrometer zeigt, wenn man mit demselben das eine und hierauf das andere Ende einer solchen auch nur aus 100 Scheibenpaaren bestehenden Säule untersucht, während immer ihr zweites Ende in der Hand gehalten wird. Die von den Polen auf was immer für eine Art abgeleitete Elektrizität wird natürlich durch die fortwährende elektromotorische Thätigkeit im Innern der Säule immer wieder ersetzt, (obgleich dies wegen des geringeren Leitungsvermögens des offenbar die Stelle der Flüssigkeit nasser Batterien vertretenden noch etwas feuchten Papiers viel langsamer geschieht als bei diesen Batterien), so daß die Pole der trockenen Säule lange Zeit hindurch Sitze entgegengesetzter Elektrizitäten sind. Eine solche Zamboni'sche Säule ist nun die kleine vertikale Säule a an dem in der früheren Figur 388 dargestellten Bohnenberger'schen und die horizontale Säule a an dem durch Fig. 389 anschaulich gemachten Fechner'schen Condensator (oder an den Bohnenberger'schen und Fechner'schen Elektroskopen, welche, wie wir von S. 422 her wissen, sich von den eben besagten Condensatoren nur dadurch unterscheiden, daß der Deckel und der Firnißüberzug an der Collectorplatte fehlt). Bei dem Bohnenberger'schen Instrumente hat die trockene Säule a den einen, z. B. den positiven Pol an der von der obern Metallfassung der Glasröhre getragenen Messingscheibe 1 und den andern (also den negativen) an der Scheibe 2, in welche der von der untern Metallfassung der Glasröhre ausgehende (und in der Mitte seines horizontalen Theiles mit einer Schraube an dem hölzernen Postamente des ganzen Apparates

---

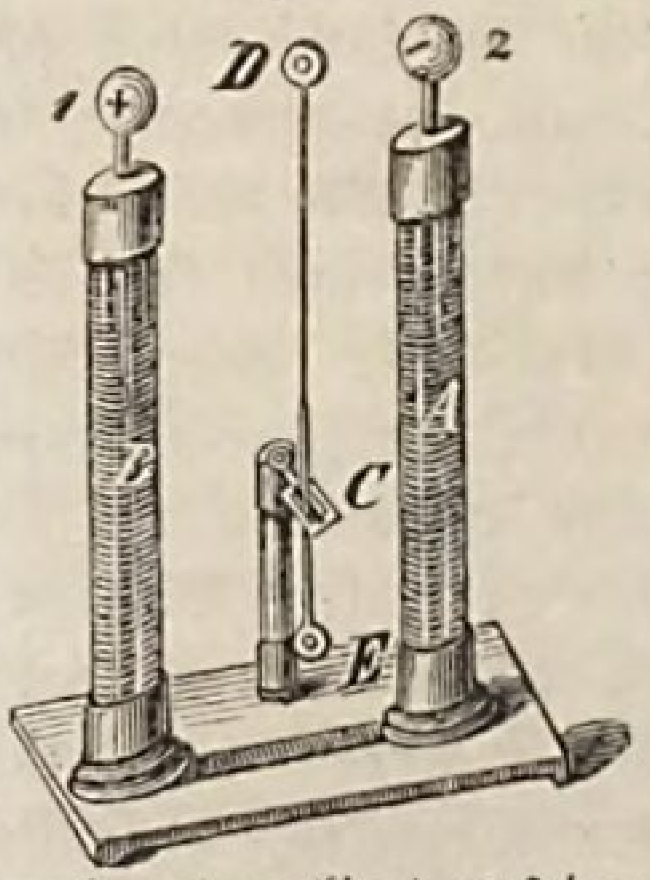
*) Diese große Zahl der in der bezeichneten Weise angeordneten Doppelscheiben wird am schnellsten dadurch zu Stande gebracht, daß man gleich ganze Bögen Silber- und Goldpapiers mit den Papierseiten zusammenleimt, dann die so erhaltenen Doppelbögen übereinander schichtet — immer die Zinnfläche des einen mit der Kupferfläche des folgenden der ganzen Ausdehnung nach in Berührung gebracht — hernach mittelst eines scharfen Hohleisens auf einmal ein Dutzend Doppelscheiben herausschlägt und stets das folgende Dutzend mit seiner untersten Scheibe auf die oberste des vorher erhaltenen Dutzends legt. Anstatt der Doppelscheiben aus Gold- und Silberpapier können auch blos Scheiben aus, auf der nicht metallischen Seite mit feingepulvertem schwarzen Braunstein eingeriebenen Silberpapier angewendet werden, die man so über einander legt, daß immer eine Silber- (Zinn-) Fläche mit einer Braunsteinfläche in Berührung kommt. Am besten ist es, auf gewöhnliches Schreibpapier Zinn- oder (besser) Zinkfolien mit Gummi oder Kleister aufzukleben und die Rückseite mit dem Braunsteine einzureiben.

befestigte) Messingstreifen b oben endigt, und die Papierscheiben in a haben nur einige Linien Durchmesser. An der Stelle des Metallstreifens b findet man oft eine zweite, mit a ganz gleiche trockene Säule angebracht, und es bilden dann die von den oberen Röhren-Fassungen beider Säulen getragenen Metallscheiben die entgegengesetzten Pole, während die untern Fassungen durch einen Metallstreifen leitend verbunden sind. Bei dem Fechner'schen Apparate (Fig. 389) enthält die horizontale Zamboni'sche Säule a 800—1000 Doppelscheiben von 1—2 Zoll Durchmesser, und die entgegensetzten Pole werden durch die an den Fassungen der Röhre in Gelenken beweglichen Drähte b, d auf die (ovalen) Messingscheibchen 1, 2 übertragen, welche auch in Gelenken an den obern Enden dieser Drähte beweglich sind, so daß man denselben eine größere oder kleinere Entfernung von einander und verschiedene Neigungen geben kann. Man begreift, daß bei beiden Instrumenten wegen Gleichzeitigkeit und gleicher Stärke der Anziehung, welche die entgegengesetzten Pole der Säule auf das zwischen beiden herabhängende Goldblättchen üben, keine Bewegung dieses letzteren erfolgen kann, so lange es sich im unelektrischen Zustande befindet, daß sich dasselbe aber, sobald es irgend woher freie Elektrizität erhält, sogleich gegen dasjenige der Scheibchen 1, 2 hin bewegen muß, welches den mit dieser Elektrizität ungleichnamigen Pol bildet, indem es dann nicht blos von diesem Pole angezogen, sondern gleichzeitig auch von dem andern abgestoßen wird. Eine Bewegung des Goldblättchens nach dem + Pol hin ist daher ein Beweis der Anwesenheit von freier — E und eine Bewegung gegen den — Pol von freier + E im Goldblättchen. Beide Apparate besitzen, wie wir bereits an einem andern Orte gehört haben, eine außerordentliche Empfindlichkeit, welche, wie wir erst jetzt einsehen können, vorzugsweise von der Stärke der Zamboni'schen Säulen, übrigens aber auch von der Dicke und Breite des Goldblättchens abhängt, weil ein dünneres und schmäleres Blättchen des geringeren Trägheitsmomentes wegen leichter beweglich ist, und doch nicht weniger freie Elektrizität aufnimmt, da diese sich vorzüglich an den Kanten desselben zusammendrängt.

Da die oben vorausgesetzte gleiche Spannungsstärke beider Pole einer Zamboni'schen Säule nicht Statt findet, indem wegen der geringen Leitung im Innern dieser Säulen die Pole ungleichmäßige Aenderungen ihrer Stärke erleiden, so hat das Goldblättchen bei dem Bohnenberger'schen und Fechner'schen Elektroskope zwischen den Polen der betreffenden trockenen Säulen keine Stabilität in seiner Lage. Dies ist ein großer Uebelstand beim Gebrauche dieser Elektroskope, welchem Hankel dadurch ausweicht, daß er die trockenen Säulen durch eine Hydrosäule sehr kleinen Maßstabes ersetzt, so daß er die zwei Messingplättchen 1, 2 Fig. 388 und 389 mit den Polen eines Becherapparates in leitende Verbindung bringt, der aus 5—20 ungefähr 1″ hohen, Wasser enthaltenden Gläsern besteht, welche durch Bögen, deren jeder aus einem zusammengelötheten Zink- und Kupferstreifen gebildet ist, so verbunden sind, daß in ein Glas immer das Zink eines und das Kupfer des folgenden Bogens taucht. Bei der beständigen Gleichheit der an beiden Polplättchen 1, 2 vorhandenen elektrischen Spannungen läßt sich das Goldblättchen diesen Polplättchen sehr nahe (auf weniger als ½ Linie) bringen, ohne daß es im natürlichen Zustande an das eine oder das andere Polplättchen anschlägt, und durch diese Annäherung eine hohe Empfindlichkeit des Instrumentes erzielen. Dieses läßt sich dann, indem man nur geringe Ausschläge des Goldblättchens, bei welchen dieses Blättchen nur sehr wenig aus seiner Lage sich entfernt, benützt und diese Ausschläge mit einem Mikroskope beobachtet, auch zu äußerst genauen Messungen verwenden. Das Nähere über die Einrichtung, die Hankel zu diesem Behufe dem Instrumente gegeben hat, findet man in Pogg. Ann. B. 84. S. 28. — Petrina ersetzt die Zamboni'schen Säulen durch ein kleines Elektrophor, indem er das eine der Plättchen 1, 2 in Fig. 388 und 389 mit dem Deckel und das andere mit der isolirten Form des Elektrophors in leitende Verbindung setzt. Durch eine eigene Vorrichtung kann die Form mit dem Kuchen gesenkt werden, wodurch dann das eine Scheibchen (das mit dem Deckel verbundene) eine positive, das andere eine negative Ladung erhält.

Schließlich mag auch noch eine andere Anwendung der Zamboni'schen Säulen, d. i. zur Bewegung eines Pendels, in Kürze Erwähnung finden. Man stellt nämlich zwei solche Säulen A, B (Fig. 405) (jede aus etwa 2000 Doppelscheiben gebildet) aufrecht so nebeneinan-

Fig. 405.



der, daß bei der einen der positive und bei der andern der negative Pol oben ist, verbindet die zwei untern entgegengesetzten Pole mittelst eines Metallstreifens leitend (wodurch gleichsam eine einzige Säule von 4000 Scheibenpaaren mit nach aufwärts gekehrten Polen erhalten wird) und bringt in die Mitte zwischen diese (an den Kugeln 1, 2 sich äußernde) Pole ein wohl äquilibrirtes, um eine durch den gläsernen Träger C isolirte Axe sehr leicht bewegliches Pendel DE aus Metall. Wird das obere Ende dieses Pendels aus der besagten Mitte (wo es wegen gleich starker Anziehung von Seite beider Kugeln in Ruhe bleibt) etwas heraus und der einen z. B. den + Pol enthaltenden Kugel 1 näher als der andern gebracht, so erfährt es von ersterer eine stärkere Anziehung, bewegt sich an dieselbe hin, nimmt von ihr + E auf, wird dann als gleichnamig elektrisch abgestoßen und von dem — Pol (von der Kugel 2) angezogen. An diesem angelangt verliert es seine + E (in Folge Neutralisirung derselben durch das — E der Kugel 2), nimmt dafür — E auf, wird nun von der Kugel 2 abgestoßen, dagegen von der Kugel 1 angezogen, bewegt sich somit wieder gegen diese hin u. s. w. Das Pendel schwingt daher zwischen den beiden Kugeln 1, 2 hin und her, und diese Bewegung dauert Monate, ja oft Jahre lang mit wechselnder Geschwindigkeit fort, hört zeitweilig auf, beginnt dann von selbst wieder, bis sie endlich, wenn mit der Zeit die Säulen ganz unthätig geworden, für immer unterbleibt.

Diese Unregelmäßigkeiten in der Bewegung des Pendels machten bald die anfangs gehegte Hoffnung, mittelst desselben eine gleichförmig gehende Uhr erhalten zu können, zu Nichte, und sie kommen von dem Wechsel in der Größe des Elektrizitätsverlustes, den die Pole der Säule durch das Pendel und die Luft erleiden. Hat man dem Pendel eine solche Beschaffenheit gegeben, daß durch dasselbe und durch die Luft, bei einem mittleren Feuchtigkeitszustande der letzteren, den Polen immer gerade so viel Elektrizität entzogen wird, als die elektromotorische Thätigkeit in der Säule zu ersetzen vermag, so gehen, so lange dieser Feuchtigkeitszustand dauert, die Pendel-Oscillationen stets mit gleicher Geschwindigkeit und ununterbrochen vor sich. Nimmt die Feuchtigkeit der Luft, und mithin die durch sie bewirkte Ableitung der Elektrizität ab, so werden die Oscillationen schneller. Im entgegengesetzten Falle werden sie langsamer, und bei zu großer Feuchtigkeitszunahme bleibt das Pendel von selbst stehen, kann aber bei wieder abnehmender Feuchtigkeit von selbst abermals in Bewegung kommen.

216. Gesetze der elektrischen Spannung an Volta'schen Batterien. Aus der in **213** angestellten theoretischen Betrachtung und aus dem 2. Spannungsgesetze S. 427 wissen wir bereits, daß die Dichten der an den Polen einer allseitig isolirten Volta'schen Batterie im Spannungszustande vorhandenen, freien Elektrizitäten mit der Anzahl der Paare im geraden Verhältnisse stehen, also bei n solchen Paaren + ne und — ne betragen, wenn + e und — e die Dichten der Glieder eines einzigen Paares bedeuten . . . (a); daß, wenn der positive Pol mit der Erde leitend verbunden ist, die Dichte am negativen — 2ne und im entgegengesetzten Falle die Dichte am positiven Pole + 2ne sei, und daß alle diese Werthe unter sonst gleichen Umständen nur von der Anzahl, keineswegs aber von der Größe der Elektromotoren abhängen.

Um nun auch eine genauere Einsicht in den elektrischen Zustand der zwischen den Polen enthaltenen Volta'schen Paare und zwar zuerst bei einer isolirten Batterie zu erlangen, darf man sich nur diese allmälig, von einem Paare angefangen, durch successive Hinzugabe immer eines neuen der folgenden Glieder aufgebaut denken und dabei Schritt für Schritt den elektrischen Zustand der bereits aneinander gereihten Glieder betrachten, indem man stets im Auge behält, daß die Elektrizität, welche aus einem oder dem anderen Theile eines Volta'schen Paares auf was immer für eine Weise abgeleitet wird, durch die darin beständig fortdauernde elektromotorische Thätigkeit sogleich wieder ersetzt werden muß. Der Vereinfachung der Betrachtung wegen soll nur die durch den Contact von Kupfer und Zink entwickelte freie E berücksichtigt und die zwischen diesen Metallen und der verdünnten Schwefelsäure stattfindende Elektrizitäts-Erregung, welche im Verhältniß zu jener zwischen den Metallen selbst ohnehin gering ist, ganz außer Acht gelassen werden, so daß die genannte Flüssigkeit als bloßer Elektrizitätsleiter ange-

sehen wird. Nimmt man an, bei Kupfer in Berührung mit Zink sei die Dichte der freien Elektrizität des ersteren $-e$ und des letzteren $+e$, und bezeichnet die in der Batterie nacheinander folgenden Glieder aus Kupfer mit K_1, K_2, K_8 u. s. w. aus Zink mit Z_1, Z_2, Z_3 u. s. w. und aus verdünnter Schwefelsäure mit S_1, S_2, S_8 u. s. w.; so stellt für die Combination $K_1 Z_1 S_1 K_2$, wenn das zunächst unter jedem Buchstaben Stehende die Elektrizitätsdichte des durch den Buchstaben bezeichneten Gliedes der Batterie bedeutet, das Schema:

$$\begin{array}{cccc} K_1 & Z_1 & S_1 & K_2 \\ -e & +e & +e & +e \end{array} \;\ldots\ldots\; \text{(I)}$$

den elektrischen Zustand der Combination dar, da das aus der Berührung des Zinkes Z_1 mit dem Kupfer K_1 entspringende $+e$ des ersteren durch Mittheilung auch auf S_1 und K_2 übergeht. Kommt die Zinkplatte Z_2 hinzu; so hat man das Schema:

$$\begin{array}{ccccc} K_1 & Z_1 & S_1 & K_2 & Z_2 \\ -e & +e & +e & +e & +e \\ -e & -e & -e & -e & +e \end{array} = \begin{array}{ccccc} K_1 & Z_1 & S_1 & K_2 & Z_2 \\ -2e & 0 & 0 & 0 & +2e \end{array} \;\ldots\ldots\; \text{(II)},$$

indem K_2 sein $+e$ auch dem Z_2 mittheilt, überdies Z_2 und K_2 zu Folge ihres Contactes selbst $+e$ und $-e$ erhalten und dieses $-e$ des K_2 auch in die Leiter S_1, Z_1 und K_1 übergeht, ferner das $+e$ und $-e$ des Z_1, S_1 und K_2 sich neutralisiren (gegenseitig vernichten). Nach weiterer Hinzufügung von S_2, K_3 wird die Batterie und der elektrische Zustand ihrer einzelnen Glieder durch

$$\begin{array}{ccccccc} K_1 & Z_1 & S_1 & K_2 & Z_2 & S_2 & K_3 \\ -2e & 0 & 0 & 0 & +2e & +2e & +2e \end{array}$$

repräsentirt; da das $+2e$ des Z_2 auch dem S_2 und K_3 zufließt, sonst aber an der vorigen Anordnung nichts geändert wird. Reiht man aber noch Z_3 an; so nimmt dieses von K_3 $+2e$ auf, es resultirt ihm ferner aus seiner Berührung mit K_3 noch ein $+e$, so daß es dann $+3e$ hat, und das dem K_8 aus derselben Berührung erwachsende $-e$ verbreitet sich über alle Glieder S_2, Z_2, K_2 u. s. f. bis nach K_1. Das die elektrische Anordnung in der Batterie darstellende Schema ist daher nun:

$$\begin{array}{cccccccc} K_1 & Z_1 & S_1 & K_2 & Z_2 & S_2 & K_8 & Z_3 \\ -2e & 0 & 0 & 0 & +2e & +2e & +2e & +2e \\ -e & -e & -e & -e & -e & -e & -e & +e \end{array} =$$

$$\begin{array}{cccccccc} K_1 & Z_1 & S_1 & K_2 & Z_2 & S_2 & K_3 & Z_3 \\ -3e & -e & -e & -e & +e & +e & +e & +3e \end{array} \;\ldots\; \text{(III)};$$

denn bei Z_2, S_2, K_8 wird von den $+2e$ immer ein $+e$ durch das neu hinzukommende $-e$ vernichtet.

Fährt man mit der Vermehrung der Glieder der Batterie in der nämlichen Art fort; so bekommt man

$$\begin{array}{cccccccccc} K_1 & Z_1 & S_1 & K_2 & Z_2 & S_2 & K_3 & Z_3 & S_3 & K_4 \\ -3e & -e & -e & -e & +e & +e & +e & +3e & +3e & +3e, \end{array}$$

(da das $+3e$ von Z_3 sich über S_3 und K_4 verbreitet), und

$$\begin{array}{ccccccccccc} K_1 & Z_1 & S_1 & K_2 & Z_2 & S_2 & K_3 & Z_8 & S_3 & K_4 & Z_4 \\ -3e & -e & -e & -e & +e & +e & +e & +3e & +3e & +3e & +3e \\ -e & -e & -e & -e & -e & -e & -e & -e & -e & -e & +e \end{array} =$$

$$\begin{array}{ccccccccccc} K_1 & Z_1 & S_1 & K_2 & Z_2 & S_2 & K_3 & Z_3 & S_3 & K_4 & Z_4 \\ -4e & -2e & -2e & -2e & 0 & 0 & 0 & +2e & +2e & +2e & +4e \end{array} \;\ldots\; \text{(IV)},$$

indem K_4 zu Folge des Contactes mit Z_4 wieder $-e$ empfängt, das durch S_3, Z_3 .... bis K_1 hin an alle Glieder mitgetheilt wird, zugleich dem Z_4 aus der Berührung mit K_4 auch $+e$ zuwächst.

Ferner ergibt sich auf diesem Wege für eine Batterie aus 5 Paaren das Schema:

$$\begin{array}{cccccccccccccc} K_1 & Z_1 & S_1 & K_2 & Z_2 & S_2 & K_3 & Z_3 & S_3 & K_4 & Z_4 & S_5 & K_5 & Z_5 \\ -5e & -3e & -3e & -3e & -e & -e & -e & +e & +e & +e & +3e & +3e & +3e & +5e \end{array} \;\ldots\; \text{(V)},$$

und für eine Batterie aus 6 Paaren das Schema:

K_1	Z_1	S_1	K_2	Z_2	S_2	K_3	Z_3	S_3	K_4	Z_4	S_5
$-6e$	$-4e$	$-4e$	$-4e$	$-2e$	$-2e$	$-2e$	0	0	0	$+2e$	$+2e$

K_5	Z_5	S_6	K_6	Z_6	..... (VI), u. s. w.
$+2e$	$+4e$	$+4e$	$+4e$	$+6e$	

Der Anblick aller dieser Anordnungen von (I) bis (VI) bestätigt nicht nur die unter (a) S. 436 gemachte Angabe, sondern stellt zugleich für den elektrischen Zustand im Innern der Batterie folgendes Gesetz heraus: Die Elektrizitäts-Dichten der Kupferplatten lassen sich, vom Kupferpole angefangen, der Reihe nach bis an den Zinkpol hin durch $-ne$, $-(n-2)e$, $-(n-4)e$, $-(n-6)e$ u. s. f. ausdrücken und die Dichten der Elektrizität in der 1sten, 2ten, 3ten u. s. w. Zinkplatte werden in der Richtung vom Zink- zum Kupferpole hin nacheinander durch ne, $(n-2)e$, $(n-4)e$, $(n-6)e$ u. s. f. dargestellt, wenn n die Anzahl der in der Batterie vorhandenen Volta'schen Paare bedeutet. Man sieht auch, daß bei einer geraden Anzahl Paare sich immer die 3 Glieder in der Mitte der Batterie im natürlichen Zustande befinden. Daß die freien Elektrizitäts-Mengen, welche aus der Einwirkung der verdünnten Schwefelsäure auf die Metalle hervorgehen und welche bei der obigen Betrachtung unberücksichtigt blieben, die eben festgestellten Resultate nur in so weit modificiren können, als sie eine Erhöhung der Elektrizitätsdichten in der Batterie bewirken, bedarf wohl nicht erst bemerkt zu werden. Steht der eine z. B. der negative Pol der Batterie mit der Erde in leitender Verbindung, so findet sich, während der andere Pol bekanntlich $+$ **E** von der größten durch die Batterie erreichbaren Dichte zeigt, auch an allen übrigen Punkten bis an den negativen Pol hin, (der jetzt gar keine Elektrizität besitzt), nur $+$ **E** und es nimmt ihre Dichte von Elektromotor zu Elektromotor in der Richtung gegen diesen Pol in arithmetischem Verhältnisse ab, und in gleichem Verhältnisse nimmt die Dichte der $-$ **E** vom negativen zum positiven Pol hin ab, wenn dieser mit der Erde leitend verbunden und ersterer isolirt ist.

Die Richtigkeit dieses Sachverhaltes läßt sich durch eine ähnliche Betrachtung, wie im vorigen Falle, (der die allseitige Isolirung der Batterie voraussetzte,) theoretisch darthun; sie kann aber auch auf dem Versuchswege und zwar am leichtesten mit einer Zamboni'schen Säule nachgewiesen werden. Zu diesem Ende setze man eine solche Säule, an welcher etwa je von der hundertsten Doppelscheibe eine Zunge immer desselben Metallpapiers aus der cylindrischen Oberfläche hervorsteht, z. B. mit dem $+$ Pol auf die Collectorplatte eines Elektrometers und berühre die zweite Zunge, von unten an gerechnet, mit dem Finger. Es bildet so das erste (unterste) Scheibenhundert gleichsam eine kleine Säule für sich, an der das eine Ende mit dem Elektrometer und das andere (durch den Finger) mit der Erde in leitender Verbindung steht, und es empfängt das Elektrometer demnach Elektrizität aus einer Quelle, worin dieselbe hundert Mal so stark verdichtet ist, als in jeder einzelnen aus Kupfer, Zinn, Papier, Kupfer gebildeten und an einem Ende mit der Erde leitend verbundenen Erregercombination. Notirt man die Größe des Winkels, um welchen die Goldblättchen divergiren und berührt dann die 3. Zunge, welche das obere Ende einer aus zweihundert Doppelscheiben bestehenden Säule bildet, hierauf die vierte, fünfte, sechste Zunge u. s. f.; so zeigen die Divergenzen der Goldblättchen $+$ **E** von doppelt, 3mal, 4mal, 5mal u. s. w. größerer Dichte an, als im ersten Falle. Es stehen also, ganz im Einklange mit der Theorie, die Dichtigkeitszunahmen der $+$ **E** in geradem Verhältnisse zur Anzahl gleichartiger Elemente der Säule. Auch an allen übrigen Punkten der letzteren findet sich nur positive Elektrizität, und die Dichte derselben nimmt gegen den $-$ Pol hin in arithmetischem Verhältniß ab. Dreht man hierauf die Säule um, so daß jetzt der $-$ Pol auf der Elektrometerplatte

ruht, wiederholt die nämlichen Experimente wie vorhin und in derselben Aufeinanderfolge; so erhält man der Reihe nach ganz dieselben Divergenzgrößen an den Goldblättchen wie zuvor; nur divergiren diese jetzt mit —**E**, so daß also in der Säule, wenn ihr + Pol mit der Erde in leitender Verbindung steht, die Dichte der Elektrizität am — Pol ebenfalls der Anzahl der zur Säule vereinigten gleichartigen Elemente proportional ist, die Säule nur — **E** enthält und die Dichte dieser — **E** vom — Pol gegen den + Pol hin in arithmetischem Verhältnisse abnimmt. Um den eben geführten experimentellen Beweis auch mit einer nassen Säule zu führen und überhaupt das elektrische Verhalten einer solchen Säule im Zustande des Gleichgewichtes (der Spannung) durch Versuche darzuthun, muß, — da eine solche Säule nicht so leicht, wie eine trockene, aus jener großen Zahl von Volta'schen Paaren zusammengesetzt werden kann, welche in der Regel erforderlich ist, damit die Pole auf ein Goldblattelektrometer merklich einwirken —, immer neben den Goldblattelektrometer ein recht wirksamer Condensator zu Hilfe genommen und eine Säule von einer Form und Einrichtung gewählt werden, welche gestattet, jedes einzelne und jede beliebige Zahl ihrer Glieder durch Leitungsdrähte mit dem Condensator zu verbinden. Die Versuche geben dann ganz die vorher angeführten Resultate. Ueberdieß bestätigen sie vollkommen die S. 430 unter (**133**) aufgestellten Ergebnisse der Theorie betreffend den Einfluß der Anzahl und Natur der Volta'schen Paare auf die elektrische Kraft (Spannung der Säule), und zeigen ferner, daß die Größe dieser Kraft auch von der Beschaffenheit des flüssigen Leiters abhänge (was seinen Grund in der schon an einem andern Orte (S. 429) besprochenen, ungleichen elektromotorischen Einwirkung der verschiedenen Flüssigkeiten auf die Metalle hat), aber unabhängig sei von der Größe der Flächen, in welchen die Leiter der Säule einander berühren, (weil nämlich die Stärke der elektrischen Erregung an den Contactstellen nicht durch die Anzahl der Contactpunkte, sondern lediglich nur durch die Natur der im Contacte stehenden Stoffe bestimmt wird).

217. Elektrischer Strom Volta'scher Ketten. Werden die beiden Glieder einer einfachen Kette, (also bei den einfachen Ketten, deren auf S. 433 besonders Erwähnung geschah, die zwei mit der Flüssigkeit in Berührung stehenden Metalle) oder die beiden Pole einer Säule durch einen Leiter (Schließungsleiter) verbunden, — was die Kette schließen heißt —; so erfolgt in ähnlicher Weise, wie bei leitender Verbindung der inneren und äußeren Belegung einer Leidner Flasche oder des ersten Conductors und des Reibzeuges einer in Gang gebrachten Elektrisirmaschine, in der ganzen Kette eine Ausgleichung (Neutralisirung) der im Spannungszustande vorhandenen ungleichnamigen Elektrizitäten, und es entstehen hiedurch zwei nach entgegengesetzten Richtungen gehende Ströme, ein positiver und ein negativer. Da die zu Folge der besagten Neutralisirung verschwundenen Elektrizitäten durch die fortwährend thätige, elektromotorische Kraft immer ersetzt werden; so erneuern sich diese Ströme stets wieder, und dies geschieht bei nassen Säulen so schnell, daß dieselben völlig ununterbrochen erscheinende und (unter günstigen Umständen) lange Zeit hindurch andauernde Ströme liefern. (Eine trockene Säule, namentlich die Zamboni'sche, braucht, um sich immer wieder zu laden, eine verhältnißmäßig längere Zeit, weil bei derselben wegen der schlechteren Leitungsfähigkeit des Papiers im Vergleich mit Säuren und wässerigen Lösungen das Ersetzen der neutralisirten Elektrizitäten weit langsamer vor sich geht.) Um nicht fortwährend zu Unterscheidungen zwischen dem positiven und negativen Strome genöthigt zu sein, faßt man allgemein immer nur ersteren ins Auge, und meint, so oft von einem elektrischen Strome ohne weiterem Beisatze die Rede ist, stets bloß den positiven. Da in einem nur aus Kupfer und Zink bestehenden Volta'schen Elemente durch die elektromotorische Kraft die + **E** vom Kupfer zum Zink getrieben wird (**212**); so hat in je-

dem solchen Elemente der bei Vereinigung der beiden Glieder desselben durch einen Schließungsleiter entstehende Strom die Richtung vom Kupfer zum Zink, mithin im Schließungsleiter vom Zink zum Kupfer ... (1). In einer aus Zink, aus Kupfer (oder dessen häufig angewendeten Stellvertreter, Platin oder Kohle) und aus einer Flüssigkeit gebildeten einfachen Kette, circulirt, wenn die genannten festen Glieder derselben außerhalb der Flüssigkeit mit einander unmittelbar oder vermittelst eines Schließungsleiters in Contact gebracht sind, zu Folge der durch die Flüssigkeit hindurch stattfindenden Ausgleichung der aus diesem Contacte resultirenden entgegengesetzten Elektrizitäten ein Strom, der in dem festen Volta'schen Elemente vom Kupfer oder dessen Stellvertreter zum Zink und von diesem durch die Flüssigkeit zum Kupfer zurückgeht. Gleichzeitig circulirt aber mit diesem Strome noch ein zweiter, welcher zu Folge Ausgleichung der durch die Berührung der Flüssigkeit mit den festen Elektromotoren entwickelten Elektrizitäten entsteht und bei Ketten, deren flüssiger Bestandtheil die festen in ähnlicher Weise elektrisch anregt, wie die verdünnte Schwefelsäure das Zink und das Kupfer, mit ersterem Strome dieselbe Richtung verfolgt, also mit ihm wirkt. (Von diesen Elektrizitäten wird nämlich die, nach (a) S. 429, in der Flüssigkeit und im Kupfer oder dessen Stellvertreter enthaltene, kraft elektromotorischer Thätigkeit vom Zink dahin getriebene $+ E$ immer durch den Schließungsleiter wieder zum Zink zurückkehren.) Wäre hingegen die elektrische Anregung der festen Elektromotoren durch die Flüssigkeit und umgekehrt von der Art, daß die letztere negativ und die ersteren positiv (und zwar Zink in stärkerem Maße als Kupfer oder dessen Stellvertreter) elektrisch würden; so müßten die bei Schließung der Kette entstehenden zwei Ströme offenbar entgegengesetzte Richtung haben, mithin einander entgegenwirken ... (†). Man ersieht hieraus neuerdings, daß die Beschaffenheit des flüssigen Leiters von großem Einflusse auf die Wirksamkeit des elektrischen Stromes einfacher und zusammengesetzter Volta'scher Ketten sein müsse ... (††) da, wie nun von selbst einleuchtet, in letzteren der Strom von jedem negativen Gliede (Kupfer, Platin, Kohle u. s. w.) der vorhandenen einfachen Ketten zum positiven und im Schließungsleiter vom positiven Pole der Säule zum negativen geht.

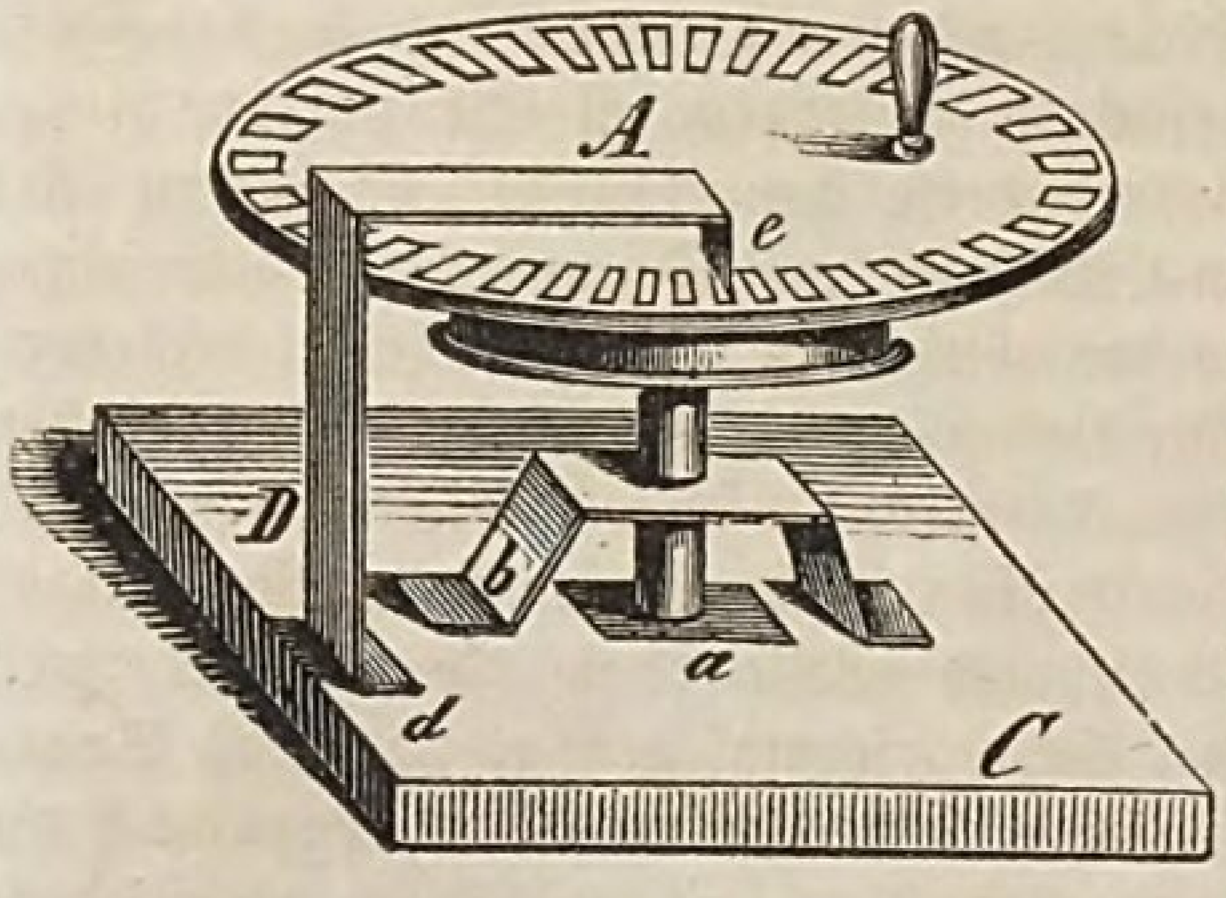
218. Quantität und Intensität des elektrischen Stromes. In einer geschlossenen einfachen Kette hängt die Menge der in einer bestimmten Zeit in Bewegung gesetzten Elektrizität d. i. die Quantität des elektrischen Stromes offenbar von der nach dem Maße ihrer Stärke die Elektrizität hervorrufenden elektromotorischen Kraft und von der Schnelligkeit ab, womit die zu Folge dessen geladene Kette sich entladet und die entladene Kette ihre frühere Ladung immer wieder annimmt. Da sich der bewegten Elektrizität in jedem Leiter ein gewisses Hinderniß der Bewegung, der sogenannte Leitungswiderstand entgegenstellt, und da dieser Widerstand in Flüssigkeiten viel größer ist als in den die Elektrizität weit besser leitenden Metallen (oder andern in Volta'schen Ketten ihre Stelle vertretenden festen Körpern); so wird, einen metallenen Schließungsleiter (eine vollkommen leitende Schließung) vorausgesetzt, der flüssige Bestandtheil der Kette nicht im Stande sein, in einer bestimmten Zeit alle Elektrizität durchzulassen, welche in der nämlichen Zeit von den festen Bestandtheilen der Kette aus (vermöge der in denselben ununterbrochen stattfindenden elektromotorischen Thätigkeit und des ihnen eigenen großen Leitvermögens) möglicher Weise in Bewegung gesetzt werden könnte, und man begreift, daß die Quantität des elektrischen Stromes bei einer einfachen Kette unter sonst gleichen Umständen mit dem Leitvermögen ihres flüssigen Bestandtheils und mit der Ausdehnung der festen Elektromotoren d. i. der Flächen zunehmen müsse, in welchen letztere mit ersterem in Berührung stehen, weil, je größer diese Flächen sind, auch desto mehr Uebergangspunkte aus den festen Leitern in den flüssigen und

umgekehrt der bewegten Elektrizität dargeboten werden. Mit der Dicke der, die festen Elektromotoren trennenden Schichte des flüssigen Leiters nimmt hingegen die Stromquantität ab, weil mit dieser Dicke der Leitungswiderstand in der Flüssigkeit wächst...(1). Wird mit einer einfachen Kette eine gleiche zweite, dritte, vierte u. s. w. zu einer Säule vereinigt und diese dann in der nämlichen Art wie vorher geschlossen; so hat der Strom keine größere Quantität als bei einer einzelnen dieser einfachen Ketten; denn es wachsen zwar, wie wir von früherher wissen, mit der Anzahl der durch Flüssigkeitsschichten getrennten Volta'schen Paare die Dichten der an den Polen der Kette angehäuften Elektrizitäten und somit auch ihre Spannungen, zugleich nimmt aber in dem nämlichen Verhältnisse auch der durch diese Schichten erzeugte Leitungswiderstand zu, so daß bei zwei, drei, vier u. s. w. solchen Paaren eine zwei=, drei=, viermal u. s. w. größere Spannung als bei einem einzigen erforderlich ist, um dieselbe Elektrizitätsmenge durch die Kette zu treiben, und daher die Vermehrung der Volta'schen Paare einer Kette nicht zur Vergrößerung der Quantität des Stromes beitragen kann, wohl aber durch Erhöhung der elektrischen Spannung in der Kette jene Eigenschaft desselben wesentlich begründet, die man seine Intensität (Stärke) nennt. Die Folge wird lehren, daß diese Intensität des Stromes (welche durch die Elektrizitätsmenge bedingt wird, die in der Zeiteinheit jeden Querschnitt seiner Bahn durchfließt) unter übrigens gleichen Umständen der Anzahl der Volta'schen Paare proportionirt ist. Wir werden an einem andern Orte auf beide Eigenschaften des elektrischen Stromes, seine Quantität und seine Intensität wieder zurückkommen; begreifen jedoch schon jetzt, daß die Effekte, welche ein Strom von großer Intensität, aber geringer Quantität in Körpern hervorbringt, auf die er einwirkt, von jenen verschieden sein müssen, welche durch einen Strom von bedeutender Quantität, aber geringer Intensität erzeugt werden, in ähnlicher Weise wie bekanntermaßen die Wirkungen des Wasserdampfes verschieden sind, je nachdem er in geringer Menge, aber großer Spannung, oder umgekehrt mit schwacher Spannung, jedoch in beträchtlicher Menge in Bewegung ist. (In ersterem Falle wird er z. B. einem Körper, gegen den er trifft, eine bedeutende Geschwindigkeit ertheilen, ihn aber binnen gegebener Zeit — durch die Wärme nämlich, die er vor und bei seiner Condensirung zu Wasser abgibt — nur wenig erwärmen können, und im letzteren Falle kann gerade das Umgekehrte stattfinden.)

219. Physiologische Wirkungen des Voltaelektrischen Stromes. Berührt man die beiden Pole einer elektrischen Säule gleichzeitig mit den Fingern, nachdem diese, um die Haut besser leitend zu machen (am besten mit Salzwasser), etwas angefeuchtet worden, so empfindet man einen eigenthümlichen Nervenreiz, der sich mit jeder erneuerten Schließung der Kette wiederholt, vorzüglich mit der Zahl der Elemente dieser letzteren (also mit der Intensität des Stromes) an Stärke bis zu einen in die Arme hinauf reichenden, sehr empfindlichen Schlag zunimmt und selbst bei einer geringen Anzahl von Elementen bis zur Unerträglichkeit gesteigert werden kann, wenn man durch oftmals wiederholtes Schließen und Oeffnen der Kette die Eindrücke rasch auf einander folgen macht, während man, um die Zahl der Eintrittspunkte des Stromes in den menschlichen Körper zu vermehren, größere, mit den Polen der Säule durch Drähte verbundene Metallstücke (am bequemsten metallene, beiderseits geschlossene und abgerundete Cylinder, die an dem einen Ende mit Klemmen zum Einspannen von Drähten versehen sind und Conductoren heißen) in den befeuchteten Händen hält.

Zu dieser oftmaligen und raschen Wiederholung des Oeffnens und Schließens der Kette hat man eigene mechanische Vorrichtungen, Stromunterbrecher (Rheotome) genannt. Als ein solcher eignet sich im vorliegenden Falle besonders gut das von Neef construirte und in Fig. 406 dargestellte Blitzrad. A ist eine horizontale Kupferscheibe von etwa 6" Durchmesser und 1—2''' Dicke, die sich um eine vertikale kupferne Axe B dreht, welche durch den auf dem

Fig. 406.



Brete C befestigten metallenen Bügel b aufrecht erhalten wird und mit dem unteren, konischen Ende in einer mit Kupfer ausgefütterten und etwas Quecksilber enthaltenden Vertiefung a läuft. Nahe dem Rande hat die Scheibe 36 Oeffnungen, welche die Richtung der Halbmesser, eine Breite von 3 bis $4^1/_2$''' und eine Länge von 10 Linien haben, mit glattem Holze genau ausgefüllt, und nur durch schmale metallische Zwischenräume von einander getrennt sind. D ist ein etwa 6''' breiter und $^1/_2$''' dicker Kupferstreifen, der bei d auf dem Brete C festgemacht ist und mit dem zweiten nach abwärts gebogenen Ende e auf der Fläche der Scheibe A ruht. Wird nun einer der zwei von den Polen der elektrischen Säule ausgehenden Leitungsdrähte in das Quecksilber der Vertiefung a getaucht, der andere hingegen mit dem Kupferstreifen D vereinigt, und man dreht die Scheibe A, während man die zwei oben beschriebenen Conductoren — wovon der eine durch Draht mit dem Quecksilber in a communicirt, der andere mit dem Streifen D leitend verbunden ist — in den Händen hält, so wird, so oft das Ende e dieses Streifens einen der metallischen Zwischenräume passirt, welche die mit Holz ausgefüllten Oeffnungen scheiden, die Kette durch den menschlichen Körper geschlossen und so oft es über das Holz in einer solchen Oeffnung hingeht, wird diese Schließung wieder aufgehoben. Da dies bei jeder Umdrehung der Scheibe 36mal geschieht und in jeder Sekunde sich leicht mehrere Umdrehungen bewerkstelligen lassen, so kann eine sehr schnelle Aufeinanderfolge abwechselnder Schließungen und Unterbrechungen der Kette erzielt werden, und es gestattet so dieser Apparat durch Beschleunigung der Umdrehung seiner Scheibe bei entsprechender Vergrößerung und Vermehrung der Volta'schen Paare eine beliebige Steigerung der beschriebenen Stromwirkung. Am leichtesten erhält man einen ganz entsprechenden Stromunterbrecher, wenn man ein Steigrad einer Uhr um eine horizontale hölzerne Axe mittelst einer Kurbel drehbar macht, auf einem Messingring, der auf dem Rade in der Mitte und mit demselben concentrisch festgelöthet ist und durch den auch die hölzerne Axe geht, einen Draht (a) federnd streifen läßt, während ein zweiter, an dem einen Ende umgebogener Draht (b) mit der converen Seite der Biegung an die eine Radfläche und nahe am Rande des Rades schwach federnd so angedrückt wird, daß die besagte Biegung bei der Drehung des Rades immer von einem Zahne dieses letzteren auf den nächstfolgenden überspringt. Die beiden Drähte (a, b) können an dem Grundbretchen, welches die, die Lager der hölzernen Axe bildenden Stützen trägt, festgemacht sein und der eine Draht (z. B. a) ist natürlich mit dem einen Pole der Stromquelle und der zweite (b) mit dem andern Pol leitend zu verbinden.

Man empfindet den elektrischen Schlag aber nicht blos bei jedem Schließen, sondern auch bei jedesmaligem Oeffnen der Kette; ersterer heißt der **Schließungsschlag** und letzterer, der jedoch immer weit schwächer ist, der **Trennungsschlag**. Während die Kette durch den menschlichen Körper geschlossen ist, erfährt dieser von dem ihn passirenden Strome keine merkliche Wirkung, außer bei kräftigen, aus vielen Elementen gebildeten Säulen, welche an den Eintrittsstellen des Stromes in den Körper das Gefühl einer Art Brennens verursachen. Einfache Ketten erzeugen keine merklichen Zuckungen oder Schläge in den Händen, aber eine eigenthümliche Geschmacksempfindung, wenn man von den Elektromotoren Leitungsdrähte, einen über und den andern unter die Zunge gehen läßt. Eine solche Empfindung wird auch leicht mittelst eines Silberlöffels und eines Zinkstückes hervorgerufen. Bringt man nämlich den breiten Theil des ersteren auf die Zunge und berührt mit der Zungenspitze das Zink, während dieses an einer andern Stelle mit dem Löffelstiel im Contact steht, so nimmt man sogleich einen stechend säuerlichen Geschmack wahr, der nicht dem Zinke angehört, weil er mit Aufhebung des besagten Contactes verschwindet. Im Kleinen läßt sich die physiologische Wirkung des galvanischen Stromes an einem Blutegel zeigen, der auf eine Silber- oder Kupfermünze gebracht wird, die in der Mitte einer etwas größeren Zinkplatte liegt. So oft er, im Begriffe herunter zu kriechen, mit dem Zinke in Berührung kommt und so die Kette schließt, prallt er convulsivisch zurück.

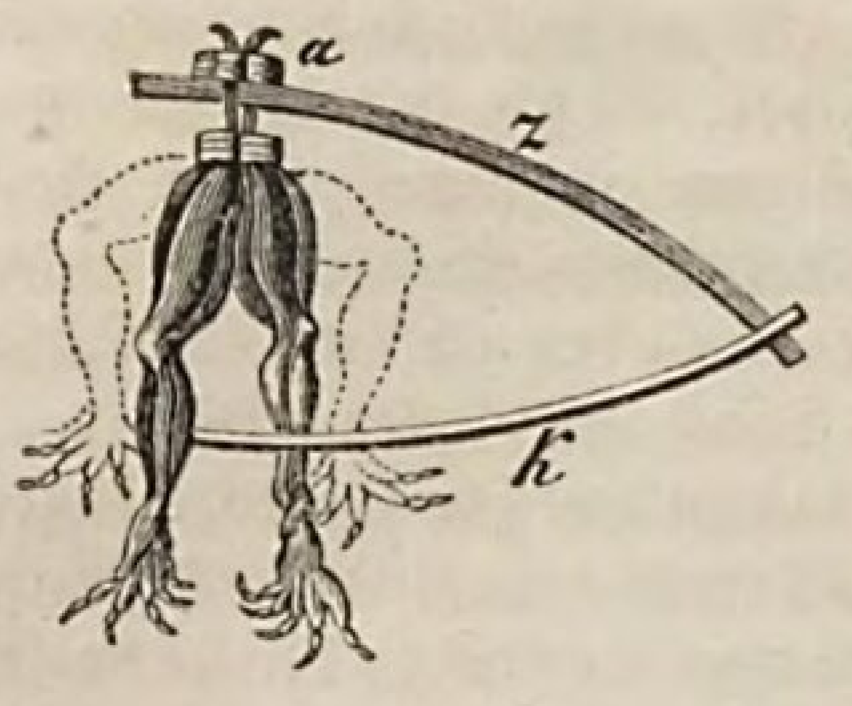
Bringt man das Auge in den Schließungsbogen einer galvanischen Säule, indem man z. B. den einen Pol mit einem zwischen den Zähnen (am besten mit einem Augenzahne) festgehaltenen Metallstücke und den andern mit dem befeuchteten Finger berührt, so sieht man bei jedem Schließen und Oeffnen der Kette einen blitzähnlichen Schein, der sich auch immer einstellt, wenn ein zwischen die Augenlider gebrachter reiner Zinkstreifen mit einem von feuchten Fingern gehaltenen Silberstücke berührt oder diese Berührung aufgehoben wird. — In der Nase erregt der negative Pol, wenn ein von ihm ausgehender Draht in die Höhle derselben eingeführt und die Kette sonst in irgend einer Weise durch den menschlichen Körper geschlossen wird, einen Reiz zum Nießen; der positive Pol erzeugt in der Nase Abstumpfung und zuweilen selbst eine Art sauren Geruches. Auch das Gehörorgan macht, was die Afficirbarkeit durch den galvanischen Strom anbelangt, keine Ausnahme von den übrigen Sinneswerkzeugen: denn man vernimmt ein eigenthümliches Geräusch, sobald mittelst Drähten, die mit abgerundeten Enden tief in die Ohren eingeführt sind, eine aus etwa 40 Paaren bestehende Säule geschlossen wird.

Die Reizbarkeit der Nerven und Muskeln durch den galvanischen Strom dauert in manchen Theilen des menschlichen und thierischen Körpers, vorzüglich bei kaltblütigen Thieren auch noch einige Zeit nach dem Tode fort, erlischt aber dann für immer. Sie bietet oft ein verläßliches Mittel der Unterscheidung des wahren vom bloßen Schein-Tode und ist auch Ursache, warum Scheintode oder Ohnmächtige nicht selten durch galvanische Schläge wieder ins Leben zurückgerufen werden. Froschschenkel, woran die Nerven bloßgelegt sind, besitzen selbst mehrere Stunden lang, vorzüglich aber während der ersten 20—30 Minuten nach der Tödtung des Thieres, einen so hohen Grad elektrischer Erregbarkeit, daß sie zu den empfindlichsten Mitteln der Wahrnehmung galvanischer Strömung gezählt werden können. Diese große Erregbarkeit der Froschschenkel hat auch zufällig im Jahre 1789 die erste Veranlassung zur Entdeckung der Elektrizitätsentwicklung durch Contact gegeben (**210**). Im Arbeitszimmer des damaligen Professors der Anatomie zu Bologna, Aloysius Galvani, lagen nämlich auf einem Tische unweit von einer Elektrisirmaschine mehrere enthäutete Frösche, und als einer derselben von ungefähr mit der Spitze eines Messers an dem Crural- (Schenkel-) Nerve berührt und zugleich aus dem Maschinenconductor ein Funke gezogen wurde, sah man die Schenkelmuskeln sich convulsivisch zusammenziehen. Zum Behufe weiterer Verfolgung dieser eben so überraschend als interessant und wichtig erschienenen Thatsache präparirte nun Galvani eigens mehrere Frosch-Hintertheile, hing sie, um ihr Verhalten gegen die atmosphärische Elektrizität zu erfahren, mittelst kleiner kupferner, durch das Rückenmark gestochener Haken an dem eisernen Geländer eines Balkons auf, und erhielt abermals die besagten Muskel-Contractionen, jedoch nur, wenn die Muskeln der Froschschenkel mit dem Eisen des Geländers in Berührung kamen. Dies, verbunden mit den Resultaten noch anderer Versuche, führte ihn zur Annahme, daß vorzüglich die Muskeln Sitze einer eigenen, thierischen, (aus dem Organismus entspringenden) Elektrizität seien, und daß die erwähnten Zuckungen in Folge durch die Metalle als Leiter bewirkter elektrischer Ausgleichungen entstehen. Die Muskeln stellen, seiner Ansicht gemäß, gleichsam eine Leidner Flasche dar, und zwar ist die äußere Oberfläche negativ, in ihrem Innern ist hingegen +E angehäuft, und der Nerv ist der Conductor dieser Flasche, der nebst den Blutgefäßen die Muskeln mit E versieht. Alexander Volta, Professor zu Pavia, welcher Galvani's Versuche mit aller Aufmerksamkeit und mit kritischem Blicke wiederholte, fand aber bald, daß die besagten Zuckungen sich nur dann deutlich und stärker einstellen, wenn der die Nerven und Muskeln des präparirten Frosches verbindende, äußere Leiter aus zwei verschiedenen, einander berührenden Metallen besteht, und sah sich hiedurch, so wie durch die Ergebnisse noch anderer

Versuche veranlaßt, die Hypothese Galvani's umzukehren, nämlich nicht den Froschkörper als Quelle (Erreger) und die Metalle als bloße Leiter der vorausgesetzten Elektrizität zu betrachten, sondern vielmehr anzunehmen, daß diese durch den Contact der beiden ungleichartigen Metalle erregt und durch den Froschkörper als Leiter nur in Bewegung gesetzt werde, übrigens völlig identisch mit dem gewöhnlichen elektrischen Fluidum sei, welche Ansicht auch bald zur allgemein herrschenden wurde.

Die Präparirung des Froschkörpers zu den Versuchen, wie sie Galvani und Volta anstellten, geschieht in folgender Weise. Man durchschneidet (am bequemsten) mit einer Schere das durch einen Schlag auf den Kopf eben getödtete oder wenigstens betäubte Thier oberhalb der Hinterfüße, entfernt von dem abgeschnittenen unteren Theil die Reste der Eingeweide, zieht von demselben rasch die Haut ab und nimmt, indem man die Spitze der Schere unter die beiden Schenkelnerven bringt, welche auf jeder Seite der Wirbelsäule als weiße Fäden erscheinen, mit zwei Schnitten die zwei oder drei untersten Rückenwirbel weg, so daß die Schenkelnerven bloßliegen und, wie man in Fig. 407 sieht, die unteren Glieder nur durch sie mit dem obern Wirbelknochen a zusammenhängen. Diese Figur macht zugleich anschaulich, wie Volta den, seine Theorie begründenden Versuch anstellte. An dem die Nerven und Muskel der Schenkel verbindenden Leiter besteht der Theil Z aus Zink, der andere Theil K aus Kupfer, und beide Metalle müssen an den Stellen, wo sie einander und den Froschkörper berühren, eine reine metallische Oberfläche haben. Die Punktirung zeigt die Bewegung der Füße bei eintretender Muskelcontraction.

Fig. 407.



Nach Du Bois Raymond zeigt ein frisch getödteter und enthäuteter Frosch bei Berührung an Kopf und Füßen mittelst eines indifferenten Bogens, in dem eine empfindliche messende Vorrichtung eingeschaltet ist, einen Strom vom Kopf zu den Füßen; eben so untersucht, auch vom Becken zu den Füßen, von den Schultern zu den Händchen u. s. w. Ebenso verhält sich der lebendige, ganz unversehrte Frosch, nur im schwächeren Grade. Von den Muskeln geben manche einen Strom, andere nicht.

220. Wirkungen des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel. Der elektrische Strom ertheilt gewissen Körpern, durch die er geht, magnetische Kraft, der zu Folge sie, so lange der Strom in ihnen andauert, unter andern Eigenschaften, welche wir erst später zum Gegenstande einer nähern Betrachtung machen können, auch die besitzen, auf Magnete bewegend einzuwirken, so daß leicht bewegliche Magnetnadeln durch den in der Nähe an ihnen vorübergehenden Schließungsdraht einer hinlänglich starken Volta'schen Kette aus der Ruhelage abgelenkt werden und dahin erst nach Oeffnen der Kette oder hinreichender Entfernung des Schließungsdrahtes wieder zurückkehren. Die Richtung dieser von Professor Oersted in Kopenhagen im Jahre 1820 zuerst beobachteten und gewürdigten Ablenkung ist verschieden, je nachdem der besagte Draht über, unter oder neben der freischwebenden Magnetnadel, und im letzteren Falle, je nachdem er auf der einen oder andern Seite an ihr vorübergeführt ist. Es lassen sich die in allen diesen Fällen der Erfahrung gemäß stattfindenden Ablenkungsrichtungen nach Ampère in folgender bildlichen Regel zusammenfassen: Der Nordpol der Magnetnadel wird immer gegen die linke Hand einer menschlichen Figur abgelenkt, welche man sich in den Draht so hineingelegt denkt, daß der Strom von ihren Füßen zum Kopf geht und ihr Gesicht der Magnetnadel zugekehrt ist . . . . (135)

Diese Regel macht es möglich, bei bekannter Richtung des Stromes die Richtung der Ablenkung einer Magnetnadel durch denselben leicht vorher zu sehen, und umgekehrt aus letzterer Richtung jene des ablenkenden Stromes im Drahte zu bestimmen. Die Wirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel zielt dahin, dieser eine gegen seine Richtung senkrechte Stellung zu geben, und wenn die Nadel diese Stellung nicht annimmt, so kommt dies nur daher, daß die Richtkraft des Erdmagnetismus sie daran hindert, . . . (†) denn führt man den Draht auf was immer für eine Art senkrecht

gegen die ursprüngliche Gleichgewichtslage der Nadel an der Drehaxe dieser letzteren vorbei und leitet den Strom so durch ihn, daß der Nordpol im Sinne der Ampere'schen Regel links gegen die Stromrichtung steht; so findet keine Ablenkung statt, die Nadel behauptet vielmehr ihre Stellung mit um so größerer Stabilität (indem sie, daraus verrückt, schneller in dieselbe zurückkehrt, als wenn der Strom nicht vorhanden ist), und bei jeder andern relativen Lage zwischen Nadel und Draht stellt sich erstere wirklich immer senkrecht gegen die Richtung des Stromes, wenn sie astatisch, also der Richtkraft des Erdmagnetismus nicht unterworfen (S. 361), oder wenn der Strom so stark ist, daß gegen seine Wirkung jene dieser Kraft verschwindet. Eine nicht astatische, gleichzeitig der Richtkraft des Erdmagnetismus und der des Volta'schen Stromes unterworfene Magnetnadel muß natürlich, der Resultirenden dieser zwei Kräfte folgend, immer eine Richtung annehmen, welche zwischen jener des magnetischen Meridians und der auf der Stromrichtung Senkrechten liegt und von dem Stärkeverhältniß dieser Kräfte abhängt, so daß sie sich desto mehr der besagten Senkrechten nähert, je stärker der Volta'sche Strom ist. Uebrigens wirkt, wie die Beobachtung lehrt, der elektrische Strom rings um sich herum auf einen Pol der Nadel mit einer Kraft, die mit dem Abstande dieses Pols von der Mitte des Stromes im umgekehrten einfachen Verhältnisse steht, in jedem Querschnitte des Leiters, den der Strom durchzieht, sich mit gleicher Stärke äußert . . . . (1) und ganz unabhängig von der materiellen Beschaffenheit dieses Leiters ist . . . (2). Ein von einem Volta'schen Strome durchzogener Draht läßt sich diesem Allem gemäß mit Recht als Transversalmagnet (112) betrachten. Der Satz (1) folgt aus der Erfahrung, daß der Schließungsdraht einer Volta'schen Kette, — wenn man ihn so zusammenbiegt, daß der zurückgebogene Theil mit dem vorwärts gehenden parallel läuft und beide sich nicht berühren, aber auch nur sehr wenig von einander abstehen, — auf die Magnetnadel nicht einwirkt. (Es müssen hier also die magnetischen Kräfte der erwähnten zwei Drahttheile einander aufheben, daher nicht blos entgegengesetzt, sondern auch gleich sein.) Die im Satze (2) ausgesprochene Unabhängigkeit der magnetischen Kraft des Stromes von der Natur des Stromleiters ergibt sich aus dem gleichen Verhalten dieser Kraft in allen vorher betrachteten Fällen, wenn der besagte Leiter aus verschiedenartigen Stoffen zusammengesetzt ist.

Das nun über die Einwirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel Vorgetragene reicht hin, um die Einrichtung und Wirkung jener Instrument verständlich zu machen, welche dazu dienen, theils blos um das Vorhandensein elektrischer Ströme mit Sicherheit zu erkennen, theils um die Stärke dieser Ströme zu messen. Wheatstone nennt die ersteren Instrumente Rheoskope, die letzteren Rheometer; gewöhnlich faßt man beide unter dem gemeinschaftlichen Namen Galvanometer zusammen. Nachdem das Wichtigste über diese Instrumente, ohne die man in der Elektrodynamik (Lehre von der Elektrizität in Bewegung) kaum wenige Schritte ungehemmt vorwärts thun kann, hier mitgetheilt sein wird, werden wir auf andere Wirkungen des elektrischen Stromes übergehen und erst später am geeignetsten Orte auf dessen magnetische Eigenschaften wieder zurückkommen.

221. Der Multiplikator. Dieses kurz nach Oersted's wichtiger Entdeckung von Schweigger und gleichzeitig auch von Poggendorff erdachte Instrument dient zur Auffindung selbst der schwächsten elektrischen Ströme, und gründet sich auf die Verstärkung, welche die Wirkung eines elektrischen Stromes auf eine Declinationsnadel offenbar dadurch erfahren muß, daß derselbe, anstatt ihn durch einen geradlinigen Draht an der Nadel vorüber zu leiten, durch einen Draht geführt wird, der in mehreren unter sich und zur Ebene des magnetischen Meridians parallelen Windungen um die Nadel herumläuft. Es wirken da nämlich, wie aus der Ampere'schen Regel (135) einleuchtet, alle diese Windungen, und zwar sowohl mit ihren über und unter der Nadel hingehenden als auch mit den auf- und abstei-

genden Theilen in gleichem Sinne ablenkend auf die Nadel, so daß sich die Wirkungen derselben summiren, mithin die ablenkende Kraft des Stromes, obgleich seine eigentliche Stärke unverändert bleibt, mit der Anzahl der Drahtwindungen zunimmt und die Magnetnadel in Bewegung setzen kann, wenn er auch hiezu an und für sich, d. i. ohne diese Vervielfältigung (Multiplikation) seiner Wirkung viel zu schwach gewesen wäre. Die Größe der ablenkenden Kraft eines solchen gleichsam multiplizirenden Drahtgewindes wächst übrigens nicht genau im Verhältnisse der Anzahl der Windungen, weil sich diese nicht alle in gleiche Abstände von der Nadel bringen lassen; auch wird dieser Anzahl und daher der besagten Verstärkung oder Vervielfältigung durch den Leitungswiderstand des Drahtes (worüber mehr in der Folge), so wie durch den Umstand eine Grenze gesetzt, daß bei zu vielen Windungen die letzteren derselben nothwendig über jene größte Entfernung von der Nadel hinaus zu liegen kommen, aus welcher sie auf diese noch merklich einzuwirken vermögen.

Das Drahtgewinde wird (am besten) aus möglichst eisenfreiem Kupferdraht gemacht, der, um die einzelnen Windungen von einander zu isoliren, und den Uebergang der strömenden Elektrizität aus einer in die andere nach der Seite hin unmöglich zu machen, mit Seide dicht übersponnen und auf einen länglich-rechteckigen Rahmen aus Holz oder Metall und von solchen Dimensionen aufgewickelt ist, daß im Gewinde gerade nur der nöthige Spielraum für die Bewegungen der Nadel bleibt. Es gelingt so, die Windungen alle möglichst nahe an die Nadel zu bringen, was natürlich die Empfindlichkeit des Instrumentes sehr erhöht. Die Enden des Drahtes bleiben von Seide frei und werden zur Aufnahme des Stromes entweder unmittelbar mit dessen Quelle verbunden, oder es taucht jedes in ein abgesondertes Näpfchen, das etwas Quecksilber enthält. Beide Näpfchen sind gewöhnlich schon am Gestelle des ganzen Instrumentes angebracht und nehmen den betreffenden, ihnen meistens durch andere Drähte zugeleiteten Strom auf. An ihrer Stelle finden sich auch oft nur 2 kleine messingene Säulchen, in deren jedem sich mittelst Klemmschrauben immer eines der Enden des Multiplikatordrahtes und einer der andern den Strom zuführenden Drähte festmachen läßt.

Die Figur 408 zeigt einen zweckmäßig eingerichten Multiplikator im Viertel der natürlichen Größe; b ist ein viereckiger Rahmen aus gut überfirnißtem Messing oder auch aus hartem Holze (Bux- oder Ebenholz), welcher bei a den Draht in möglichst parallel neben einander laufenden Windungen und in mehreren Lagen über einander enthält, und worin eine etwa 2 Zoll lange, magnetisirte Stahlnadel 1 schwebt, die an einem ungedrehten Seidenfaden (Coconfaden) s hängt welcher oben an einer senkrechten Schraube c festgemacht ist und unten durch eine in der Mitte der obern Drahtlagen belassene Lücke geht, die gerade groß genug ist, um die Nadel in den Rahmen einführen zu können. Die Nadel steckt in einer Hülse aus spiralförmig gewickeltem feinen Messingdrahte, und in einer mit dieser vereinigten gleichen Hülse steckt, wie die Fig. 409 anschaulich macht, parallel eine zweite unmagnetische

Fig. 408.

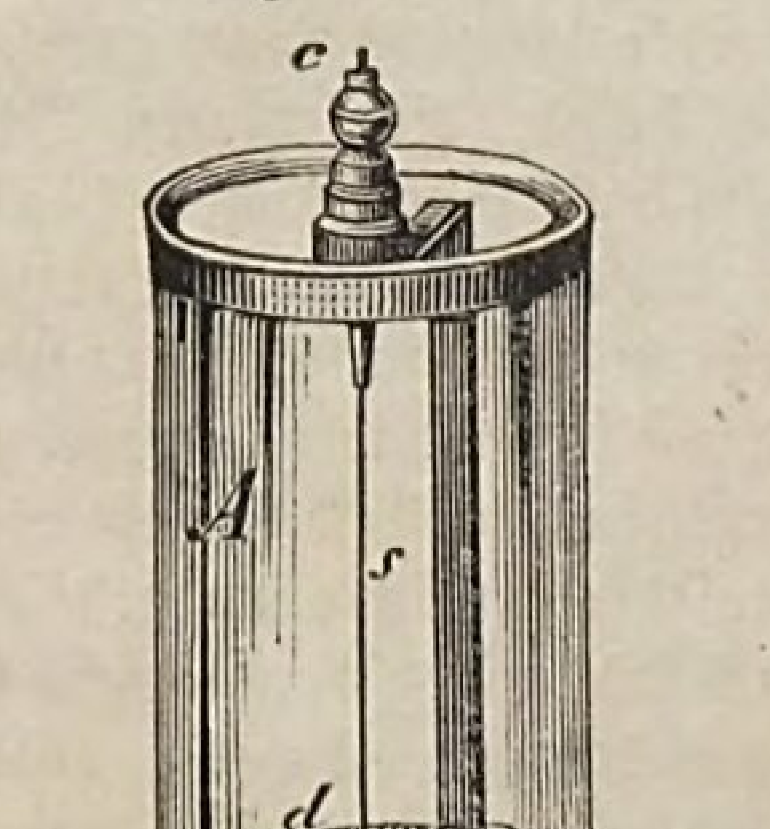
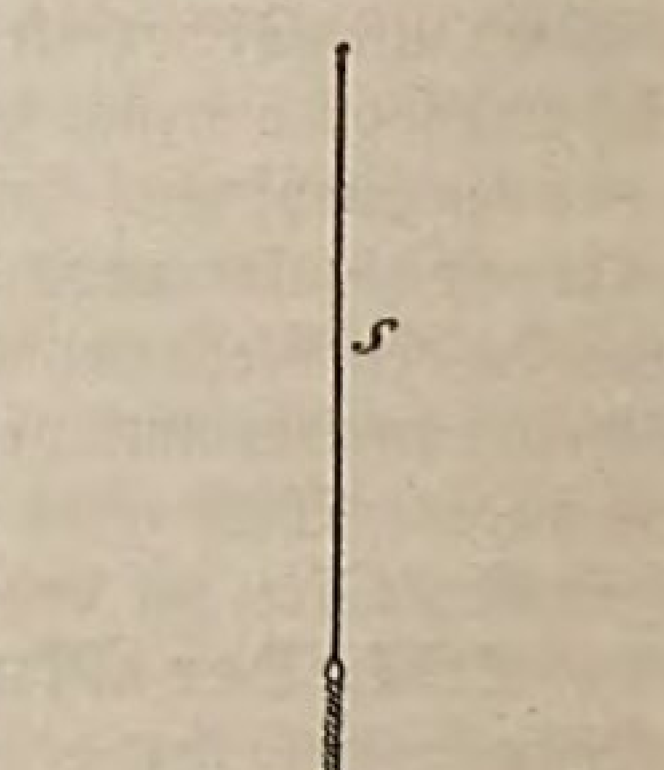


Fig. 409.



Nadel 2, die als Zeiger dient und über einer Kreistheilung spielt, welche auf einer mit lackirtem Papier überzogenen Kupferscheibe verzeichnet ist. Die Kupferscheibe ruht auf den Rändern des oben und unten etwas über das multiplizirende Drahtgewinde hervorstehenden Rahmens und hat, um sie, nachdem die Magnetnadel sich bereits im Innern dieses Drahtgewindes befindet, unterhalb des Zeigers einschieben zu können, einen bis an ihren Mittelpunkt gehenden Einschnitt e. Mittelst der Schraube c, die sich im Deckel des zur Abhaltung des Staubes und Luftzuges dienenden Glascylinders **A** dreht, läßt sich die Nadel etwas heben oder senken, um sie immer in die zu ihrer freien Bewegung erforderliche Lage, oder, durch Herablassen des Zeigers auf die getheilte Kupferplatte (etwa beim Transport des Instrumentes), zur Ruhe bringen zu können. Beim Gebrauch des Multiplikators wird die mit Stellschrauben f versehene Scheibe **B** aus Messing oder hartem Holze auf eine feste, von den Erschütterungen des Fußbodens unabhängige Unterlage (am besten auf einen in eine Mauer eingelassenen Träger) so gestellt, daß die Drahtwindungen der durch den Erdmagnetismus gerichteten Magnetnadel parallel laufen, welche Stellung dann erreicht ist, wenn der Zeiger auf den Nullpunkt der Kreistheilung einspielt. Um nun diese Stellung immer leicht und mit Schärfe erreichen zu können, ohne das ganze, einmal festgestellte Instrument wieder verrücken zu müssen, ist die Einrichtung getroffen, daß derjenige Theil **D** oben in der Mitte der Scheibe **B**, welcher den drahtumwickelten Rahmen und den ihn einschließenden Glascylinder trägt, sich mittelst der Getriebschraube g um eine senkrechte Axe drehen läßt. Damit die beim Heben der Nadel durch die Schraube c dem Coconfaden ertheilte Drehung ohne Senkung der Nadel wieder aufgehoben werden kann, läßt sich auch die messingene Mutter dieser Schraube im Deckel des Glascylinders **A** horizontal und mit Reibung herumdrehen. h, h endlich sind die früher besprochenen Quecksilbernäpfchen.

Die Empfindlichkeit des Multiplikators wird noch beträchtlich erhöht, wenn man bei demselben, wie dies zuerst der italienische Physiker N o b i l i that, anstatt einer einfachen Magnetnadel eine astatische Doppelnadel von der in Fig. 342 auf S. 361 dargestellten Einrichtung so anbringt, daß die eine Nadel im Innern des Drahtgewindes, die zweite aber über demselben schwebt. Man erhält diese wichtige Verbesserung auch an dem eben vorher beschriebenen Instrumente, wenn daran der unmagnetische Zeiger 2 durch eine mit der Nadel 1 gleich große, aber in Bezug auf die Pole umgekehrt gerichtete Magnetnadel (die dann zugleich auch die Rolle des Zeigers spielt) ersetzt wird. Wurde für gleiche magnetische Stärke beider Nadeln und für genauen Parellismus ihrer magnetischen Axen so viel möglich gesorgt; so ist die der ablenkenden Kraft des elektrischen Stromes entgegenwirkende Richtkraft des Erdmagnetismus fast Null, der Doppelnadel bleibt nur eine äußerst geringe Richtkraft und es muß dieselbe der Stromkraft, welche nur noch die Torsion des Fadens zu überwinden hat, um so leichter folgen, als diese Kraft jetzt von den Drahtwindungen aus gleichzeitig und zu Folge der A m p e r e'schen Regel ganz in dem nämlichen Sinne auf beide Nadeln einwirkt. Uebrigens kann die erdmagnetische Richtkraft bei Multiplikatoren selbst mit einfacher Nadel auf eine fast beliebig kleine Größe herabgesetzt und dadurch dem Instrumente der höchste Grad von Empfindlichkeit gegeben werden, wenn man in gehöriger Entfernung davon, und in der Ebene des magnetischen Meridians einen kräftigeren Magnetstab wagrecht so anbringt, daß seine Pole im Vergleich mit jenen einer durch den Erdmagnetismus gerichteten Nadel die verkehrte Lage haben, weil dann der Einfluß des Erdmagnetismus durch die entgegengesetzte Wirkung des Magnetstabes aufgehoben wird.

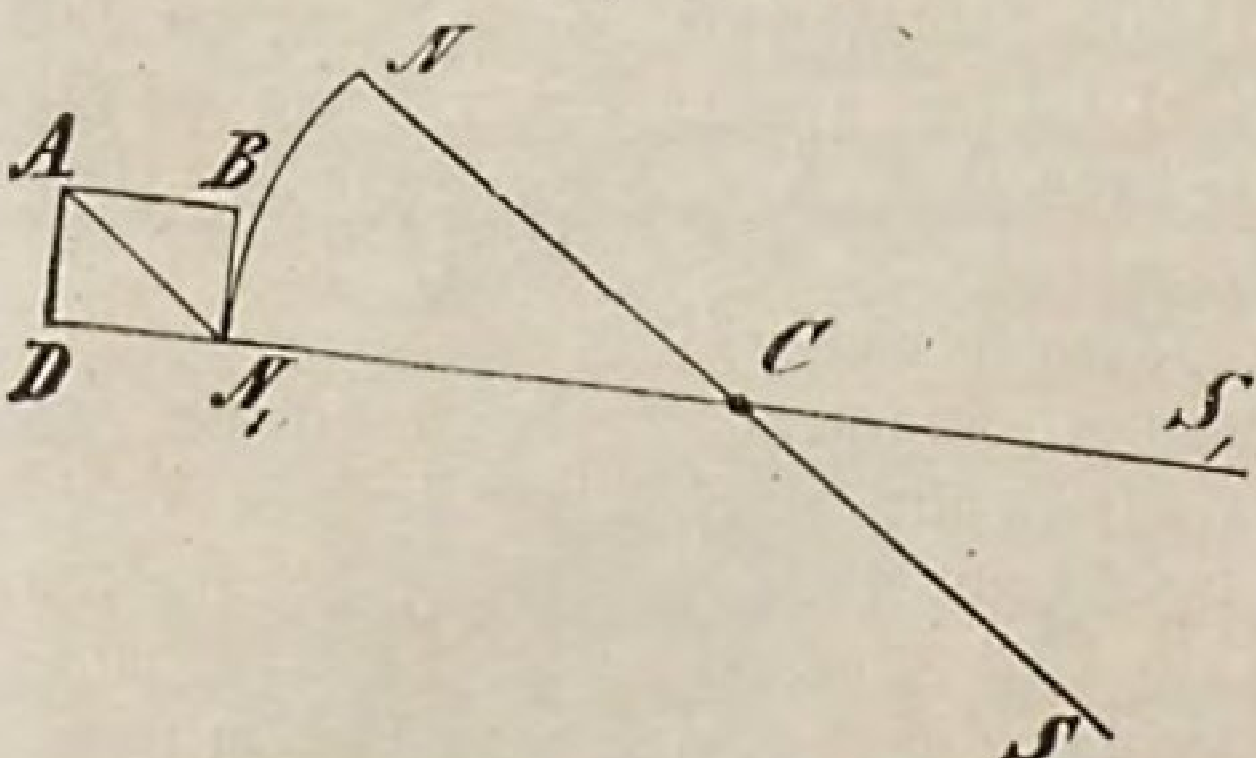
Man macht zuweilen das Gewinde der Multiplikatoren aus zwei nebeneinander laufenden Drähten, so daß zwei abgesonderte, auf die Nadel ganz gleich stark wirkende, aus in Bezug auf Länge, Dicke und Leitungsfähigkeit gleichem Draht bestehende Gewinde vorhanden sind. Man kann dann entweder den elektrischen Strom

nur durch ein Gewinde oder in dem nämlichen Sinne durch beide Gewinde nach einander gehen lassen, oder gleichzeitig durch jedes Gewinde einen besonderen Strom, und zwar beide Ströme nach entgegengesetzten Richtungen leiten, um im letzteren Falle zu unterscheiden, welcher der stärkere ist, überhaupt um den Unterschied ihrer Kräfte auf die Nadel einwirken zu machen. Ein solches Instrument heißt deshalb dann Differenzialgalvanometer.

Die Multiplikatoren können, wie nun hinlänglich klar ist, bei gehörigem Empfindlichkeitsgrade zur Entdeckung selbst der schwächsten Spuren wo immer entspringender elektrischer Ströme und, was sich von selbst versteht, auch zur Bestimmung der Richtungen dieser Ströme, aber keineswegs unmittelbar zur Messung der Stärke ihrer magnetischen Kräfte dienen; weil die durch die Ströme bewirkten Ablenkungen der Multiplikatornadel in keinem, auf theoretischem Wege leicht ermittelbaren Verhältnisse zu den Größen der ablenkenden Kräfte stehen. Es läßt sich zwar dieses Verhältniß empirisch (durch Versuche) für jeden Multiplikator besonders bestimmen und die Kreistheilung (in Fig. 408 auf der mit Papier überzogenen Kupferscheibe) so ausführen, daß die Ablenkungswinkel der Nadel unmittelbar das Stärkeverhältniß der Kräfte angeben, welche die Ablenkungen bewirkten, diese Theilung also eine wahre Intensitäts-Scale darstellt; allein es bleibt ein solches Meßwerkzeug doch immer nur ein beschränktes. Wir wollen jetzt gleich zu jenen vollkommenen derartigen Werkzeugen übergehen, welche unter den Namen: Sinusbussole und Tangentenbussole bekannt sind und die besten der bisher erdachten Methoden, die Intensitäts-Scale eines Multiplikators zu bestimmen, erst später an einem passenderen Orte besprechen . . . . (136)

222. Die Sinusbussole. Folgende Betrachtung wird eine gehörige Einsicht in das Wesen dieses wichtigen, von Pouillet erdachten und von Poggendorff wesentlich verbesserten Instrumentes geben. Wir wissen aus **177** bei (116), daß eine aus dem magnetischen Meridiane abgelenkte Declinationsnadel durch die horizontale Componente des Erdmagnetismus wieder in diesen Meridian zurückgetrieben wird. Bedeutet nun **NS** (Fig. 410) die Ruhestellung einer solchen Nadel im magnetischen Meridian, **NCN₁** den Winkel, um welchen sie in ihrer horizontalen Schwingungsebene aus dem Meridiane abgelenkt worden, und N_1A die Größe der horizontalen Componente des Erdmagnetismus (deren Richtung also in die besagte Schwingungsebene fällt, und, wie ebenfalls aus (116) erhellt, zum magnetischen Meridiane parallel ist); so wird die Nadel in die ursprüngliche Ruhelage durch eine Kraft von der Größe N_1B zurückgetrieben.

Fig. 410.



Zerlegt man nämlich die horizontale erdmagnetische Kraft N_1A in zwei Componenten, wovon die eine N_1D in die verlängerte Richtung N_1S_1 der abgelenkten Nadel fällt, und die andere N_1B auf dieser Richtung senkrecht steht; so kann N_1D zur Zurückführung der Nadel in die Stellung **NS** offenbar nichts beitragen, und die dabei allein wirksame Kraft ist $N_1B = N_1A \sin. N_1AB = N_1A \sin. N_1CN$ (weil wegen des Parallelismus von N_1A und **NS** der Winkel N_1AB dem Ablenkungswinkel N_1CN der Nadel gleich ist). Es ist demnach, bei der Unabhängigkeit der Größe der Componente N_1A von der Größe des Ablenkungswinkels die Kraft, welche eine aus dem Meridiane abgelenkte Declinationsnadel wieder in denselben zurückzuführen sucht, dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional. Wird nun eine Declinationsnadel durch die Kräfte x, x_1 zweier elektrischer Ströme abgelenkt und einmal durch die Kraft x um den Win-

kel a, das andere Mal durch die Kraft x_1 um den Winkel a_1 abgelenkt erhalten; so sind offenbar auch diese ablenkenden Stromkräfte (da sie mit den Kräften, welche in beiden Fällen die Nadel in die ursprüngliche Stellung zurückzuführen suchen, im Gleichgewichte stehen) den Sinus der Ablenkungswinkel proportional, so daß $x : x_1 = \sin. a : \sin. a_1$ ist, vorausgesetzt, daß diese Stromkräfte in beiden Fällen, während sie die Nadel abgelenkt erhalten, auf letztere bei übrigens gleichen Umständen auch nach senkrechten Richtungen gegen dieselbe einwirken . . . (†).

Ein elektrischer Strom, der durch das Drahtgewinde eines Multiplikators geht, wirkt auf die Pole der in dem Gewinde schwebenden Magnetnadel (wie aus **220** auf S. 444 erhellt) nach einer gegen die Ebene der Windungen (d. i. jeder einzelnen der unter einander parallel vorausgesetzten Windungen) senkrechten Richtung mit einer Kraft, welche am größten ist, wenn die magnetische Axe der Nadel sich in derselben Ebene befindet (die Kraft also senkrecht gegen diese Axe wirkt), mit der Ablenkung der Nadel aus der Ebene der Windungen abnimmt, und desto schwächer ist, einen je größeren Winkel mit dieser die besagte Axe der Nadel bildet (in je schieferer Richtung die Wirkung auf diese Axe erfolgt). Könnte man nun in jedem Falle, wo die Nadel durch einen elektrischen Strom aus ihrer gewöhnlichen Ruhelage abgelenkt erhalten wird, immer machen, daß die Multiplikator-Windungen, so wie bei dieser Ruhelage, der magnetischen Axe der Nadel parallel sind (die ablenkende Kraft also senkrecht gegen diese Axe wirkt), so würde in allen Fällen der Strom nicht blos die ihm mögliche stärkste ablenkende Kraft auf die Nadel üben, sondern dies auch immer nach, gegen die letztere senkrechter Richtung thun; es wäre somit die unter (†) ausgesprochene Bedingung erfüllt, und es könnten die magnetischen Kräfte zweier oder mehrerer Ströme den Sinus der Winkel proportional gesetzt werden, um welche sie einzeln die Multiplikatornadel ablenken. Dieses jedesmalige Parallelstellen der Drahtwindungen mit der magnetischen Axe der Nadel läßt sich aber immer leicht erzielen, wenn der das Drahtgewinde des Multiplikators enthaltende Rahmen um eine durch den Mittelpunkt der Kreistheilung des Instrumentes gehende Axe drehbar ist, und man hat dann nur bei jeder Ablenkung der Nadel durch einen elektrischen Strom diesen Rahmen aus der Stellung, wo die Ebene der Drahtwindungen mit dem magnetischen Meridian gleichlaufend war, so lange der abgelenkten Nadel nachzudrehen, bis der besagte Parallelismus erreicht (gleichsam, nach endlicher Ueberwindung der Stromkraft durch die mit der Entfernung der Nadel aus dem Meridiane immer wachsende Richtkraft des Erdmagnetismus, alle Abweichung der Nadel von der Ebene der Windungen wieder verschwunden) ist. Der Sinus des Winkels, um welchen so der Rahmen gedreht wurde, ist offenbar das relative Maß der magnetischen Kraft des Stromes.

Nach Vorstehendem ist nun leicht einzusehen, daß sich der oben beschriebene und durch die dortige Fig. 408 anschaulich gemachte Multiplikator sehr leicht in eine Sinusbussole umwandeln lasse, und daß es hiezu, da der Multiplikator-Rahmen daran ohnehin mittelst der Getriebschraube g schon gedreht werden kann, nur eines fixen Punktes unmittelbar über dem Rahmen und der Kreistheilung bedürfe, welcher, indem er während der Drehung der beiden letzteren seine Stellung unveränderlich beibehält, den Winkel erkennen läßt, um welchen Windungen und Nadel aus dem magnetischen Meridiane verrückt worden sind. Aber auch wenn ein solcher fixer Punkt nicht vorhanden ist, kann mit dem besagten Multiplikator der in Rede stehende Winkel und zwar dadurch gemessen werden, daß man, nachdem Windungen und Nadel mit einander gleichlaufend gemacht worden, den Strom unterbricht und auf der Kreistheilung den Bogen beobachtet, welchen die Nadel beschreibt, während sie in ihre ursprüngliche Lage (in die Ebene des magnetischen Meridians) zurückkehrt.

Uebrigens läßt sich auch jeder andere gute Multiplikator, an welchem die zum Drehen des Drahtgewinde-Rahmens dienliche Vorrichtung, wie sie dem in Fig. 408

abgebildeten Instrumente eigen ist, fehlt, als Sinusbussole gebrauchen, wenn man ihn auf eine um eine vertikale Axe drehbare und mit einer Kreistheilung versehene Scheibe stellt, wobei weder ein Zusammenfallen der Drehaxe der Nadel mit jener der Scheibe, noch ein vollkommener Parallelismus der Drahtwindungen unter sich oder zur magnetischen Axe der Nadel, und eben so wenig eine bestimmte Form der Windungen erforderlich ist, wofern nur die Lage der Nadel gegen die Windungen und die Abweichung der zwei genannten Drehaxen von einander constant bleiben. Daß bei dem beschriebenen Gebrauche der Sinusbussole Beständigkeit der Stärke des betreffenden Stromes, die zur Bestimmung des Ablenkungswinkels der Nadel erforderliche Zeit hindurch, vorausgesetzt wird, versteht sich von selbst. Da diese Zeit nur sehr wenig (2, höchstens 3 Minuten) beträgt, so läßt sich die Sinusbussole auch für unbeständige Ströme anwenden, wenn die Aenderung der Stärke dieser letzteren nicht zu rasch geschieht, in welchem Falle Stromstärke-Messungen ohnehin keinen großen Werth haben können.

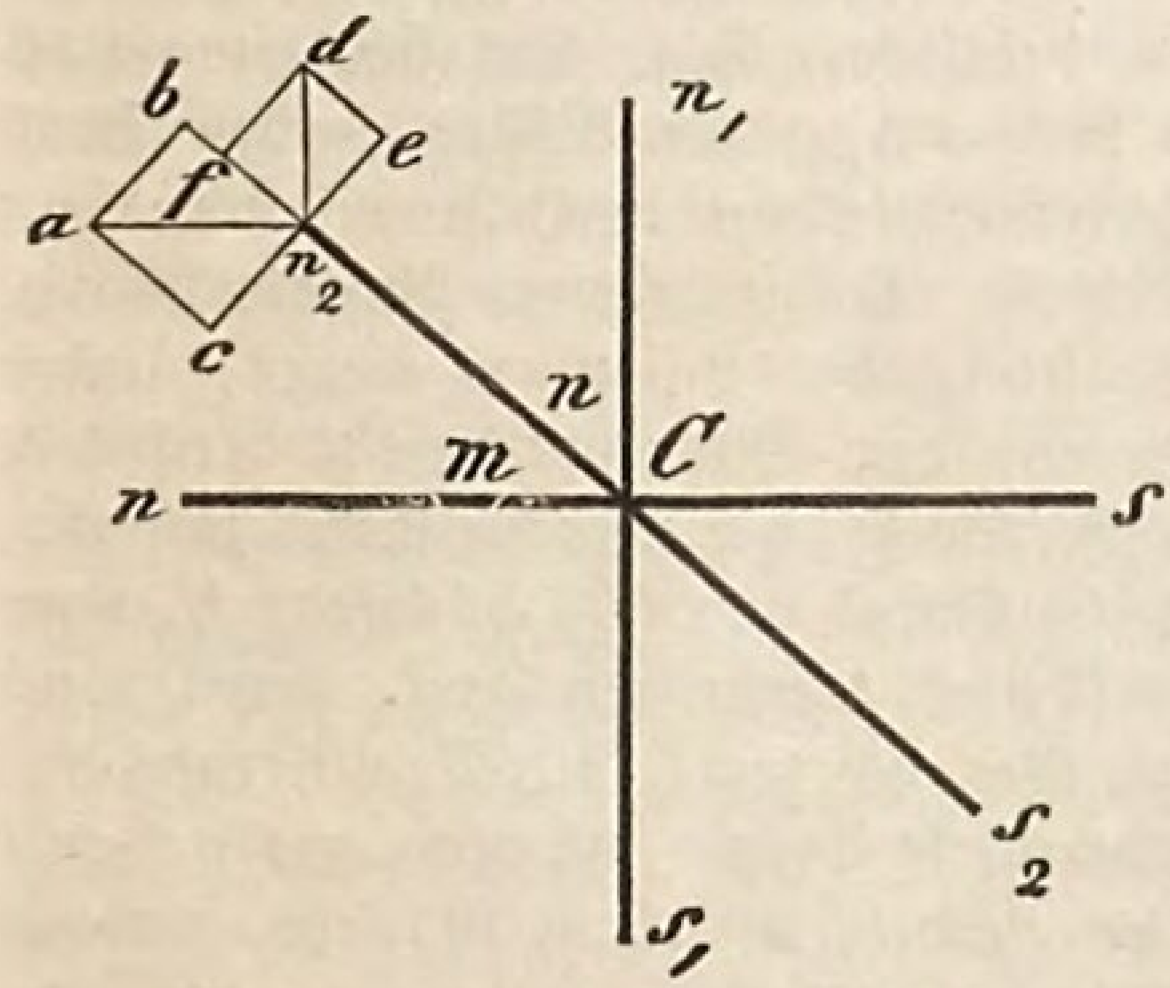
Die Sinusbussole, welche schon ihrem Prinzipe nach große Vorzüge vor allen andern zum Messen von Stromstärken dienenden Instrumenten hat, ist insbesondere in der wesentlich verbesserten Einrichtung, die ihr Poggendorff gegeben, und in welcher sie vom Mechaniker Kleiner zu Berlin auf das Präzisește ausgeführt wird, ein allen arbeitenden Physikern vorzugsweise empfehlenswerthes galvanometrisches Werkzeug. Bei dem Poggendorff'schen Instrumente besteht die Nadel aus einem einfachen, cylindrischen, 34''' langen, 1''' dicken Magnetstab (eine Doppelnadel hätte den Nachtheil, die Angaben des Instrumentes von dem Magnetismus der Nadeln abhängig zu machen), welcher an einem Faden aufgehängt und unterhalb mit einem zweiten Faden versehen ist, der am Ende ein in einer senkrecht unter dem Aufhängepunkt des Systems befindlichen und mit dem drehbaren Theil des Instrumentes verbundenen Glasröhre schwebendes, kugelförmiges Gewicht trägt (welche Vorrichtung der Nadel einen hohen Grad von Empfindlichkeit in der drehenden Bewegung gewährt und derselben bei Erschütterungen des Instrumentes nur ein geringes, schnell vorübergehendes Zittern gestattet), und die Multiplikator-Windungen sind, statt aus einem einfachen Drahte, aus zwei parallel, oder besser, zusammengedreht nebeneinander fortlaufenden Drähten gebildet. Diese letztere Einrichtung macht es möglich, bei der Bussole, welche von Pouillet als nur zur Messung schwacher Ströme anwendbar bezeichnet wird (da die Sinus, welche das Maß der Kräfte sind, nur bis zu einer bald erreichten Grenze wachsen), den Umfang der Scale fast im beliebigen Grade zu erweitern, so daß sie die magnetischen Kräfte von Strömen der verschiedensten Intensität zu messen gestattet. Denn läßt man den Strom, nachdem man den einen Draht durch einen Hilfsdraht um ein Gewisses verlängert hat, sich in beide Drähte theilen, und zwar so, daß er sie einmal in gleichen und das andere Mal in entgegengesetzten Richtungen durchziehen muß, so bekommt man eine Summe und eine Differenz von Wirkung, deren Verhältniß nur von dem Verhältnisse der Längen (der Leitungswiderstände) der Drähte, nicht aber von der Intensität des Stromes abhängt und daher, wenn es für Eine Intensität experimentell bestimmt worden, bei ungeänderten Zweigdrähten für alle Strom-Intensitäten giltig bleibt. Wären nun Ströme zu vergleichen, deren Intensitätsverhältniß den Umfang der Scale des Instrumentes überschreitet, so hätte man nur den starken Strom mit der Differenz und den schwachen mit der Summe der Zweigwirkungen zu messen und das gefundene Verhältniß mit dem (oben besagten, experimentell bestimmten) Verhältnisse zwischen jener Summe und Differenz zu multiplizieren. Da man das letztere Verhältniß nach dem Leitungswiderstands-Verhältniß der Zweigdrähte fast beliebig abändern kann, so ist man auch im Stande, Ströme von fast beliebigem Intensitätsverhältniß mit einander zu vergleichen. Gesetzt, man könne mit dem einfachen Drahte Stromstärken messen, die sich wie 100:1 verhalten und das Verhältniß zwischen Summe und Differenz der Zweigwirkungen wäre auch 100:1; so würde man Ströme vergleichen können, deren Intensitäten im Verhältniß 10000:1 stehen. Uebrigens lassen sich an dem Instrumente auch mit Leichtigkeit Drahtgewinde von verschiedener Länge und Dicke der Drähte einsetzen, wovon wir den Nutzen erst später gehörig einsehen können. Für gewöhnlich reichen 4 Windungen eines Drahtes von 0·66 Millimeter (0·3 Wien. Linien) Durchmesser hin. Zur Bestimmung der Ablenkungswinkel, deren Sinus die Maße der (magnetischen) Stromkräfte sind, dient ein Horizontalkreis von 3½ Zoll Durchmesser, der eine Sicherheit der Ablesung mittelst Nonius bis auf 1 Minute gewährt.

223. Die Tangentenbussole. Mittelst dieses ebenfalls von Pouillet zuerst angewendeten Meßinstrumentes wird das relative Maß der magnetischen

Kräfte elektrischer Ströme nach dem Satze erhalten, daß diese Kräfte den Tangenten der Winkel direkt proportional sind, um welche die Magnetnadel des Instrumentes durch die betreffenden Ströme aus dem magnetischen Meridian abgelenkt wird, woher der Name Tangentenbussole sich rechtfertigt. Zur Begründung dessen und der anzugebenden Einrichtung des Instrumentes diene Folgendes.

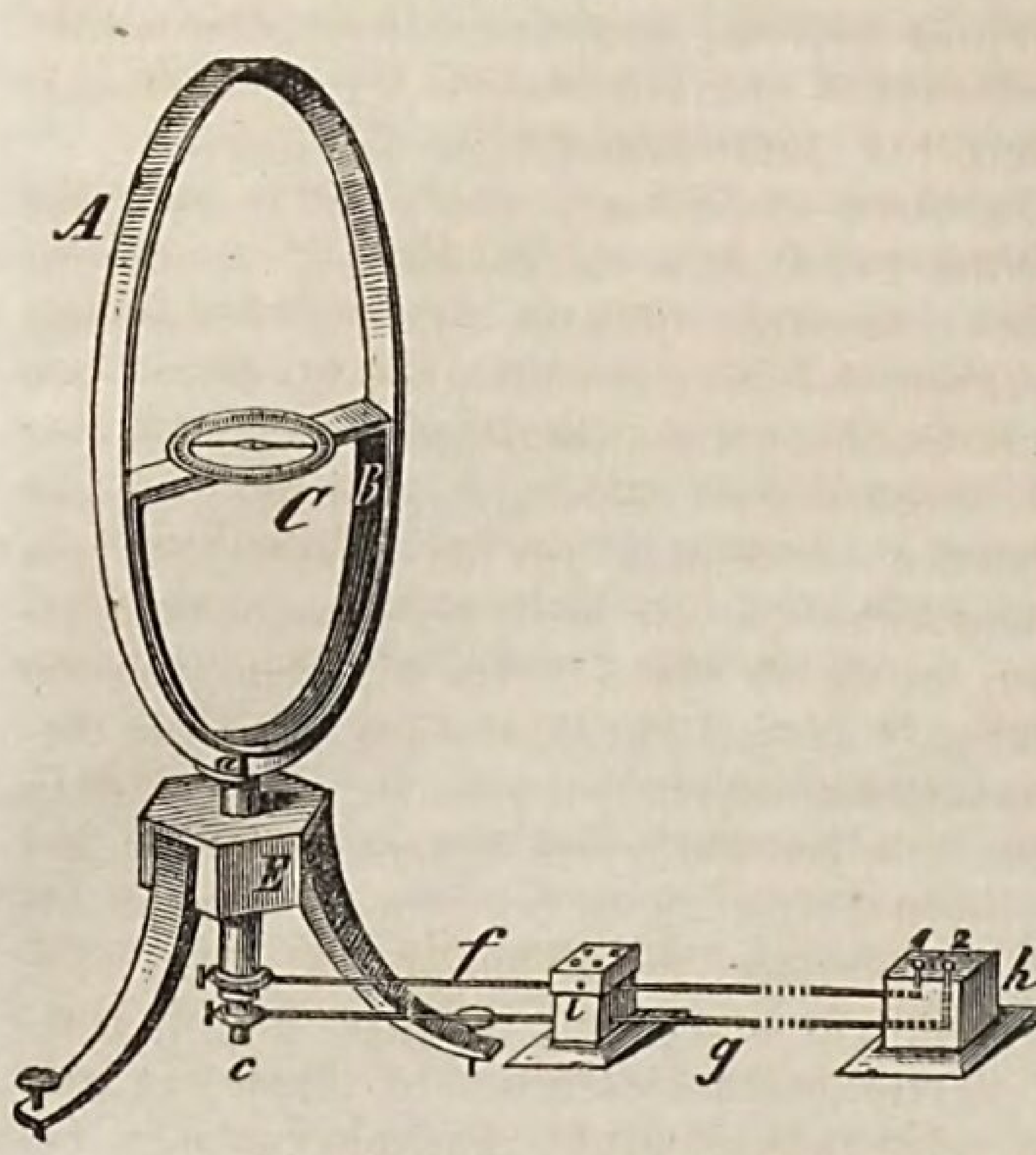
Durchläuft ein elektrischer Strom einen kreisförmig gebogenen Draht (der Länge nach) und befindet sich in der Mitte des Kreises ein Magnetpol; so vereinigen sich die magnetischen Kräfte, womit sämmtliche Elemente des Drahtringes auf den Pol einwirken, zu einer Resultirenden, welche senkrecht gegen die Ebene des Ringes gerichtet und der Größe nach der Summe aller gleichzeitig in demselben vorhandenen Stromtheile proportional ist. Gehört der besagte Pol einer Magnetnadel an, die ihren Drehpunkt im Mittelpunkte des Ringes und im Verhältnisse zum Durchmesser des letzteren eine sehr geringe Länge hat, so wird die gedachte Resultirende bei den verschiedenen Stellungen, welche die Nadel durch die Bewegung um ihren Drehpunkt annehmen kann, offenbar keine merkliche Aenderung erfahren. Gesetzt nun, der Drahtring sei in den magnetischen Meridian gebracht, die Nadel zu Folge der Richtkraft des Erdmagnetismus in der Ebene des Ringes zur Ruhe gekommen, und man leite jetzt den elektrischen Strom durch den Ring, so wird die gedachte Resultirende die Nadel aus ihrer Ruhelage, welche durch ns Fig. 411 vorgestellt werden soll, ablenken und sie senkrecht gegen die Ebene des Ringes zu stellen suchen, welche Lage wir mit $n_1 s_1$ bezeichnen wollen. Da die Nadel aber gleichzeitig durch den Erdmagnetismus in die ursprüngliche Stellung ns zurückgezogen wird; so muß sie jene Zwischenlage, es sei diese $n_2 s_2$, annehmen, in welcher sie von der ablenkenden Kraft des Stromes, und von der Richtkraft der Erde eine gleiche Einwirkung erfährt, so daß die wirksamen Theile beider Kräfte im Gleichgewichte stehen .... (1). Stellt n_2a die horizontale Componente des Erdmagnetismus vor (welche, wie wir aus Früherem wissen, die Richtkraft der Nadel und zu ns parallel ist) und bezeichnet n_2c jenen Theil dieser Componente, der, nach (**116**) S. 365, bei Zurückführung der Nadel in den Meridian der allein wirksame ist; repräsentirt ferner n_2d die Größe der auf ns, mithin auch auf n_2a senkrechten Stromkraft und n_2e jenen Theil dieser Kraft, der, nach ihrer Zerlegung in eine zu $n_2 s_2$ parallele Componente (n_2f) und eine darauf senkrechte, also zu n_2c entgegengesetzte (n_2e), nur allein die Nadel zur Bewegung nach $n_1 s_1$ antreiben kann; so muß, damit der Bedingung (1) Genüge geleistet werde, $n_2c = n_2e$... (2) sein. Es ist aber $n_2c = n_2a \sin. m$, ... (3) ferner $n_2e = n_2d \sin. n_2de = n_2d \sin. n = n_2d \cos. m$, und hieraus folgt mit Bezug auf (2) und (3) $n_2d = \frac{n_2 e}{\cos. m} = n_2a \frac{\sin. m}{\cos. m} = n_2a \operatorname{tg.} m$. Bei einem andern, durch einen Strom von größerer oder geringerer magnetischer Kraft bewirkten Ablenkungswinkel r würde man für diese Kraft den Ausdruck $n_2a \operatorname{tg.} r$ finden; es sind daher die Intensitäten der magnetischen Kräfte zweier oder mehrerer elektrischer Ströme den Tangenten der Winkel direkt proportional, um welche sie die Magnetnadel aus der Ebene des in den magnetischen Meridian gestellten Drahtringes ablenken . . . . (136).

Fig. 411.



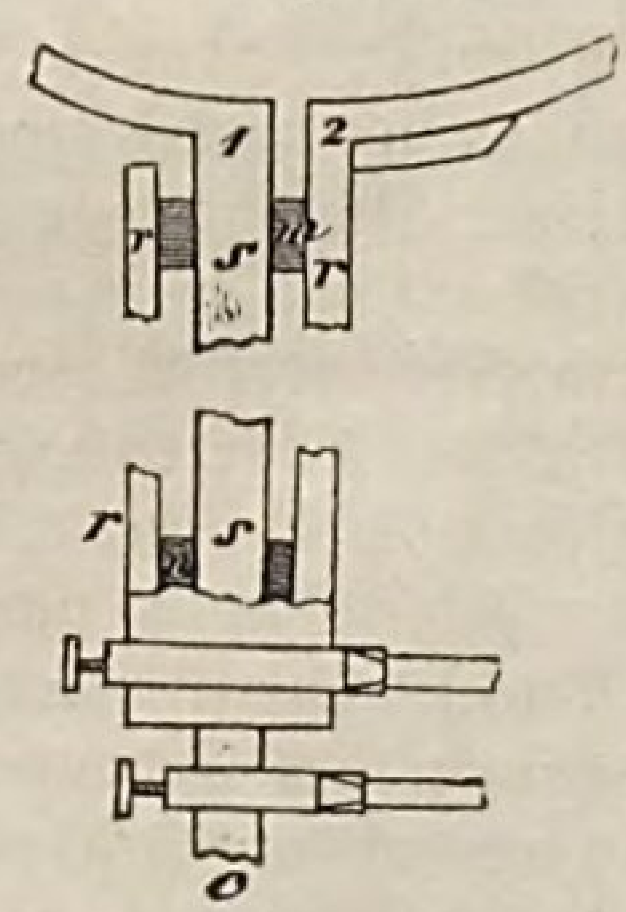
Dieser Satz liegt nun der Tangentenbussole zu Grunde, welche in Fig. 412

Fig. 412.



und zwar in der von Weber angegebenen Gestalt abgebildet ist. A stellt einen etwa $^3/_4$'' breiten und $^1/_4$'' dicken Reif aus Kupfer oder auch aus Messing vor, durch welchen, nachdem er in den magnetischen Meridian gestellt worden, der Strom geleitet wird. Die Zuleitung des letzteren in den Reif geschieht durch einen kupfernen, cylindrischen Stab, die Ableitung durch eine solche Röhre indem diese das eine, und der Stab das andere absteigende Ende des unten bei a nicht geschlossenen Reifes bildet. Der Stab geht durch die Röhre hinab, steht unten bei c aus ihr hervor, und beide sind von einander mittelst bei a und nächst c in die Röhre eingesetzter Ringe aus Holz oder Bein isolirt, was man alles deutlich in Fig. 413 sieht, wo 1, 2

Fig. 413.



die Enden des Reifes A, r die Röhre, s den Stab und m, n die Holzringe bedeuten. C ist eine von dem hölzernen Halbkreise B getragene Bussolenbüchse, worin (der Abhaltung des Luftzuges wegen, unter Glas) auf einer mit dem Mittelpunkte des Reifes A zusammenfallenden Spitze die Magnetnadel schwebt. Da die Länge dieser Nadel nur $^1/_5$, höchstens $^1/_4$ vom Durchmesser des Reifes A betragen darf, (weil sonst die oben gemachte Voraussetzung, die Resultirende der Kräfte aller Stromtheile ändere sich nicht merklich mit der Stellung der Nadel, unrichtig ist) eine genaue Messung des Ablenkungswinkels aber einen getheilten Kreis nothwendig macht, dessen Halbmesser viel größer ist als die halbe Länge dieser Nadel; so wird mit letzterer ein ihr genau paralleler sehr leichter Zeiger aus Kupfer (oder ein Faden aus Glas) vereinigt, der sie an Länge 3—4mal übertrifft und mit seinen Enden an der Kreistheilung spielt. . . . (†) Damit der Reif A immer leicht und ohne Verrückung des ganzen Instrumentes in den magnetischen Meridian gestellt werden kann, ist es gut, daß sich derselbe mit seinen absteigenden Theilen a, c in dem hölzernen Dreifuße E um eine vertikale, in der Ebene des Reifes liegende und durch seinen Mittelpunkt gehende Axe drehen lasse. Diese Einrichtung gewährt zugleich den Vortheil, das Instrument auch als Sinusbussole benützen und die nach dem einen Prinzipe ausgeführten Messungen nach dem andern controliren zu können. Die (etwa $^1/_2$—1''' dicken) Kupferdrähte f, g dienen zur Verbindung des Instrumentes mit der Stromquelle; der obere ist mit der Röhre r, der untere mit dem durch sie hindurchgehenden Stabe s und zwar jeder mittelst eines auf den betreffenden Theil r oder s aufgesteckten und durch eine Druckschraube festgemachten Metallringes leitend vereinigt. Beide Drähte laufen einander parallel und haben eine gleiche Länge von wenigstens 3 Fuß, ersteres, damit ihre entgegengesetzten Wirkungen auf die Nadel, während der Strom durch sie zu- und abfließt, genau gleich sind, sich somit aufheben, und letzteres, damit die Stromquelle weit genug entfernt ist, um nicht selbst merklich auf die Nadel einwirken zu können. Die Drähte kön-

nen auch zu einem Strang zusammengewunden sein; dann muß aber vorher jeder, der Isolirung von dem andern wegen, einen Seidenüberzug erhalten haben. Zur Vereinigung derselben mit der Stromquelle dienen die zwei, zu ihren Enden führenden und mit Quecksilber gefüllten Vertiefungen 1, 2 in dem Holzblocke **h**, der zugleich, so wie der Holzblock **i**, die Drähte in ihrer Lage erhält.

Die Tangentenbussole ist in der beschriebenen Gestalt nur für starke elektrische Ströme geeignet. Um bei derselben die Einwirkung auch schwächerer Ströme auf die Nadel noch merklich und vergleichbar zu machen, kann an der Stelle des kupfernen oder messingenen Reifes eine kreisförmige Rinne aus Holz angebracht werden, deren Vertiefung ein multiplicirendes Gewinde aus mit Seide übersponnenem Kupferdrahte enthält, dessen Enden in ähnlicher Weise, wie im vorigen Falle die Enden des Reifes, mit der Stromquelle in Verbindung gesetzt sind. Beim Gebrauche der Tangentenbussole hat man sich wohl gegen die Fehler zu verwahren, die aus einer unrichtigen Einstellung des Zeigers auf den Nullpunkt der Kreistheilung entspringen, was leicht dadurch geschieht, daß man den zu messenden Strom einmal nach einer und das andere Mal in entgegengesetzter Richtung durch den Reif oder das Drahtgewinde gehen läßt und aus den beobachteten Ablenkungen der Nadel das arithmetische Mittel nimmt.

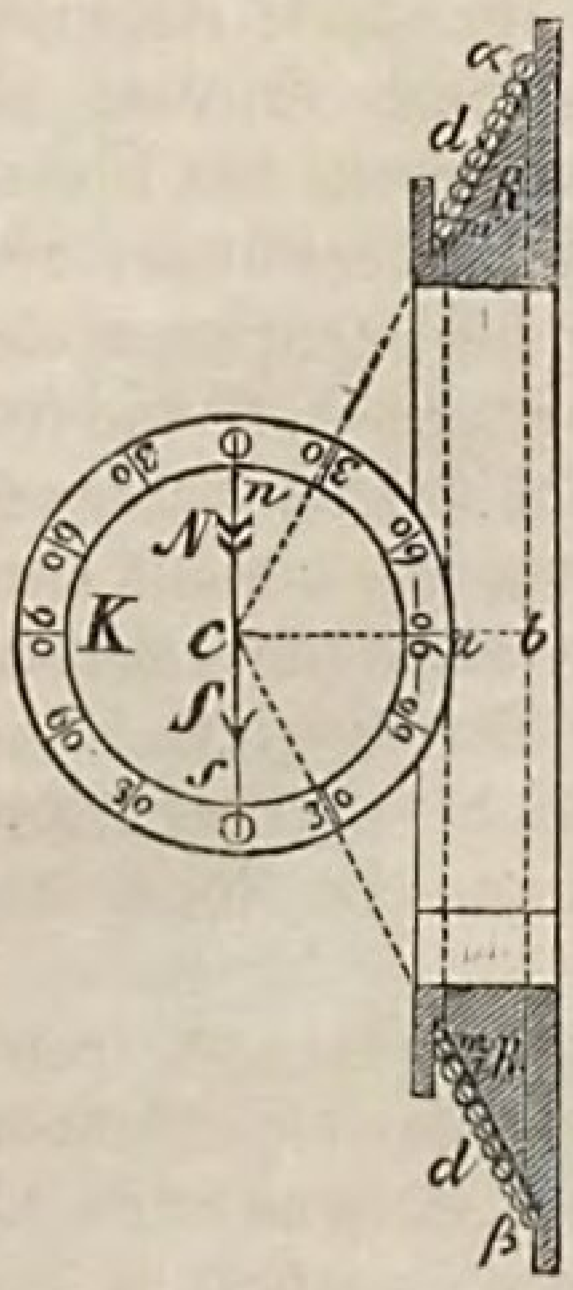
Nach Despretz's Versuchen mit der Tangentenbussole (**Compt. rend.** vom 4. Oktober 1852, S. 449) findet bei diesem Instrumente die Proportionalität zwischen den Tangenten der Ablenkungswinkel und den Stromstärken nie Statt: es läßt sich nämlich die Stromstärke nicht durch die S. 451 erhaltene einfache Formel $n_2 d = n_2 a \text{ tg. } m$, oder wenn man die Stromstärke mit **J** und die horizontale Componente $n_2 a$ des Erdmagnetismus mit **T** bezeichnet, durch $J = T \text{tg. } m$ darstellen, sondern dieser ist die weit vollständigere Formel

$J = (1 + 3\alpha^2) \text{ tg. } m - \frac{15\alpha^2}{8} \text{ sin. } 2m$ zu substituiren, wo α das Verhältniß zwischen dem halben Abstand der Pole der Nadel und dem Halbmesser des vom Strom durchlaufenen Kreises bedeutet. Nur wenn dieser Kreis mindestens 1 Meter Durchmesser und die Magnetnadel höchstens 30 Millimeter Länge hat, ist der Fehler, der bei Voraussetzung der erwähnten Proportionalität begangen wird, so klein, daß er vernachläßigt werden darf. Tangentenbussolen mit so großem Stromkreise und so kleiner Magnetnadel würden aber offenbar einen geringen Empfindlichkeitsgrad besitzen; man kann ihnen aber die Empfindlichkeit eines kleinen derartigen Instrumentes geben, wenn man dem Metallringe (**A**, Fig. 412) vier durch Seide von einander isolirte Drähte, jeden von 5—8 Millimeter Durchmesser, substituirt. Ersetzt man die vier dicken Drähte durch einen Bündel aus 12—20 weniger (z. B. 3—4 Millimeter) dicken Drähten, so erhält man ein Instrument, das auch zum Messen der Intensitäten ganz schwacher Ströme hinreichend empfindlich ist.

Nach Gaugain's experimentellen und Bravais's mathematischen (mit höherem Calcul durchgeführten) Untersuchungen (**Compt. rend.** vom 24. Jänner 1853, S. 191 und 193) kann der Tangentenbussole aber leicht eine solche Einrichtung gegeben werden, daß immer, auch bei kleinen Stromkreisen die Stromstärken den Tangenten der Ablenkungswinkel wirklich fast vollkommen proportional sind. Es ist zu diesem Ende das Centrum der Magnetnadel außerhalb der mittlern Ebene des vom Strome durchlaufenen Kreises **K** (des kupfernen oder messingenen Reifes) und zwar in einer im Mittelpunkte dieses Kreises, und auf seiner Ebene errichteten Senkrechten in einem Abstande von dieser Ebene anzubringen, der dem vierten Theil des Durchmessers des besagten Stromkreises **K** gleich ist, und der gegenseitige Abstand der beiden magnetischen Pole der Nadel (vorausgesetzt, daß diese Pole symmetrisch gegen den Nadel-Mittelpunkt gelagert sind) hat mindestens $\frac{1}{5}$ oder, was nahe auf dasselbe hinausgehen dürfte, die Länge der Magnetnadel hat mindestens $\frac{1}{4}$ vom

Durchmesser des Kreises **K** zu betragen. Gaugain hat, auf diese seine Entdeckung hin, zugleich angegeben, wie sich richtige Tangentenbussolen von sehr großer Empfindlichkeit construiren lassen. Man hat nämlich, wie dies schon oben als Mittel zur Erhöhung der Empfindlichkeit der Tangentenbussole angegeben wurde, den Metallreif (**A** Fig. 412) durch ein multiplicirendes Gewinde aus mit Seide übersponnenem Kupferdrahte zu ersetzen, diesen Draht aber um eine konische hölzerne Rolle von solcher Convergenz herumzuwickeln, daß der Kegel, wovon die konische Rollenfläche eine Zone ausmacht, seinen Scheitel im Mittelpunkt der Magnetnadel hat und die Erzeugende der Kegelfläche mit der Axe des Kegels einen Winkel bildet, dessen Tangente = 2 ist, wie dies in Fig. 414 versinnlicht wird, in welcher **R** die konische Rolle mit 10 Windungen des mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes (mindestens von 1''' Durchmesser) im horizontalen, (dem horizontalen, getheilten Kreis **K**, über welchem die Nadel **NS** schwebt, parallelen) und durch den Drehpunkt der Nadel geführten Schnitte darstellt und worin den obigen Bedingungen gemäß folgende Dimensionsverhältnisse Statt finden: Die Nadellänge **NS** ist $= \frac{1}{4}$ mm$_1$, d. i. der 4. Theil von Durchmesser des kleinsten Stromkreises (**Nn** und **Ss** sind blos Glasfädenstücke zu dem oben unter (†) S. 452 erwähnten Zweck). Die Entfernung **ca** des Mittelpunktes der Nadel von der Ebene dieses Stromkreises beträgt $\frac{1}{4}$ des Durchmessers **mm**$_1$ des letzteren, und es ist endlich **ca** : **cb** = **ma** : α**b**. Offenbar ist bei solchen Verhältnissen der Mittelpunkt der Nadel von der Ebene eines jeden einzelnen Stromkreises um $\frac{1}{4}$ seines Durchmessers entfernt, so daß also jede einzelne Drahtwindung für sich eine Ablenkung der Nadel hervorbringt, deren Tangente der Stärke des sie durchlaufenden Stromes proportional sein wird.

Fig. 414.



224. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes. Elektrolyse. Wird ein elektrischer Strom von angemessener Intensität lange genug durch gewisse chemisch-zusammengesetzte Körper geleitet, so erfahren diese, vorausgesetzt, daß sie sich im flüssigen Zustande (herbeigeführt durch eine entsprechende Temperatur oder ein Auflösungsmittel) befinden, eine Zerlegung: ein Bestandtheil oder eine Parthie der Bestandtheile wird an der Stelle, wo der Strom in die Flüssigkeit eintritt, und der andere Bestandtheil oder die andere Parthie der Bestandtheile dort, wo er austritt, abgeschieden. Nach Faraday heißt die Zerlegung durch den elektrischen Strom Elektrolyse, ein der Elektrolyse fähiger Stoff Elektrolyt, die Stellen, wo der Strom am Elektrolyt ein- und austritt, heißen Elektroden, und zwar führt die Eintrittsstelle oder positive Elektrode insbesondere den Namen Anode und die Austrittsstelle oder negative (dem negativen Strom zugleich als Eintrittsstelle dienende) Elektrode den Namen Kathode. Den Raum zwischen den Elektroden kann man, besonders wenn diese, wie meistens, durch im Elektrolyte einander gegenüberstehende Metallflächen gebildet werden, kurz und passend Zersetzungszelle nennen. Die Bestandtheile, in welche der Elektrolyt zerfällt, heißen Jonen; das Jon, welches an der Anode auftritt, wird Anion, das an der Kathode auftretende, Kation genannt. Nicht immer kommen die Jonen so, wie sie der elektrische Strom aus dem Elektrolyten abscheidet, sondern oft dadurch verändert zum Vorschein, daß sie entweder mit den als Elektroden dienenden Zu- und Ableitern des Stromes oder mit Stoffen chemisch verbunden sind, mit welchen der Elektrolyt vor der Zerlegung vereinigt war. Der eigentliche Erfolg der Elektrolyse ist in einem solchen Falle gleichsam versteckt, und es erscheinen blos sekundäre Zersetzungsresultate. Ersteres kann dadurch verhindert werden,

daß man als Elektroden Leiter wählt, welche nicht den zur chemischen Verbindung erforderlichen Verwandtschaftsgrad zu den Jonen besitzen, und man reicht in dieser Beziehung fast in allen Fällen mit Elektroden von Platin aus.

Den zur Elektrolyse geeignetsten Strom liefert eine Volta'sche Batterie; aber auch der Strom einer einfachen Kette, wenn sie eine hinreichend kräftige ist, und jener einer Elektrisirmaschine (S. 405) kann chemische Zersetzungen bewirken; der letztere steht hierin den Strömen Volta'scher Ketten wegen seiner viel geringeren Quantität immer weit nach. Die meisten, wenn nicht alle der die Elektrizität leitenden zusammengesetzten Flüssigkeiten sind, in die Zersetzungszelle gebracht, durch den Volta'schen Strom zerlegbar, nur nicht alle gleich leicht. So wird z. B. eine Jodkaliumlösung schon durch die Kraft eines jeden einfachen Volta'schen Paares zersetzt, mit etwas Schwefelsäure versetztes Wasser bedarf zur Zerlegung schon einer kräftigeren Kette und reines Wasser wird nur durch den Strom starker galvanischer Batterien zerlegt. Wir wollen hier gerade das Wasser und dann eine wässerige Salzlösung wählen, um daran beispielsweise den näheren Hergang bei der elektrochemischen Zersetzung zu zeigen. Werden zwei Drähte aus Platin einander gegenüber in Wasser getaucht und dieselben mittelst anderer Drähte mit den Polen einer Volta'schen Batterie verbunden, so daß die Kette geschlossen ist; so beginnt an den Platindrähten eine Gasentwicklung, welche lebhafter vor sich geht, wenn vorher das Wasser durch Zusatz von etwas Schwefelsäure für den elektrischen Strom leitungsfähiger gemacht wurde, wenn die Elektroden statt aus Drähten aus breiteren, dem Strome mehrere Eintrittspunkte in den Elektrolyten bietenden Streifen von Platin bestehen und wenn die Elektroden einander näher sind, weil der Strom dann in der Flüssigkeit einen geringeren Leitungswiderstand erfährt und daher weniger geschwächt wird.

Gibt man den besagten Elektroden in dem (gewöhnlich gläsernen) Gefäße, worin sich das zu zersetzende Wasser befindet, eine aufrechte Stellung (indem man sie z. B. wie Fig. 415 zeigt, flüssigkeitsdicht durch den Boden des Gefäßes gehen läßt) und stürzt über jede derselben eine oben geschlossene und gleichfalls mit Wasser gefüllte und mit dem untern Ende in das Wasser tauchende Glasröhre a, b; so können die in Blasen emporsteigenden Gase abgesondert aufgefangen werden. Bei der Untersuchung charakterisirt sich das von der positiven Elektrode (der Anode) kommende Gas als Sauerstoff, das von der negativen Elektrode (Kathode) her entwickelte aber als Wasserstoff, und die Volume beider stehen, einen geringen, durch ungleiche Absorbtion von Seite des Wassers veranlaßten Verlust abgerechnet, in dem nämlichen Verhältnisse, in welchem sie, gemengt und nachher angezündet, Wasser bilden.

Fig. 415.

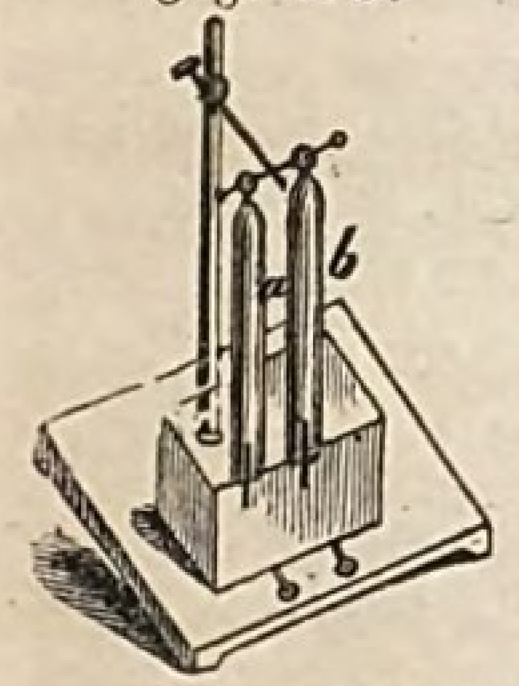


Fig. 416.

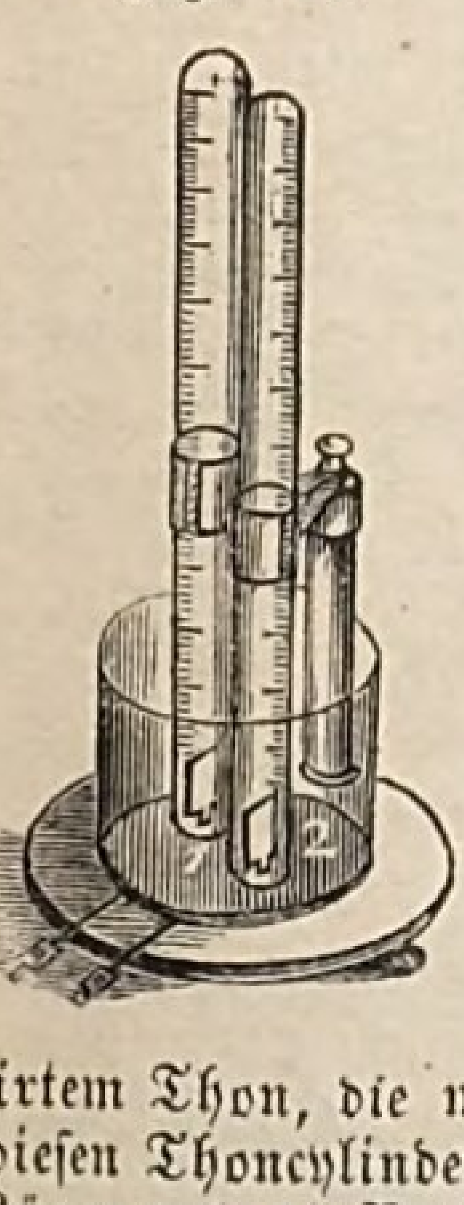
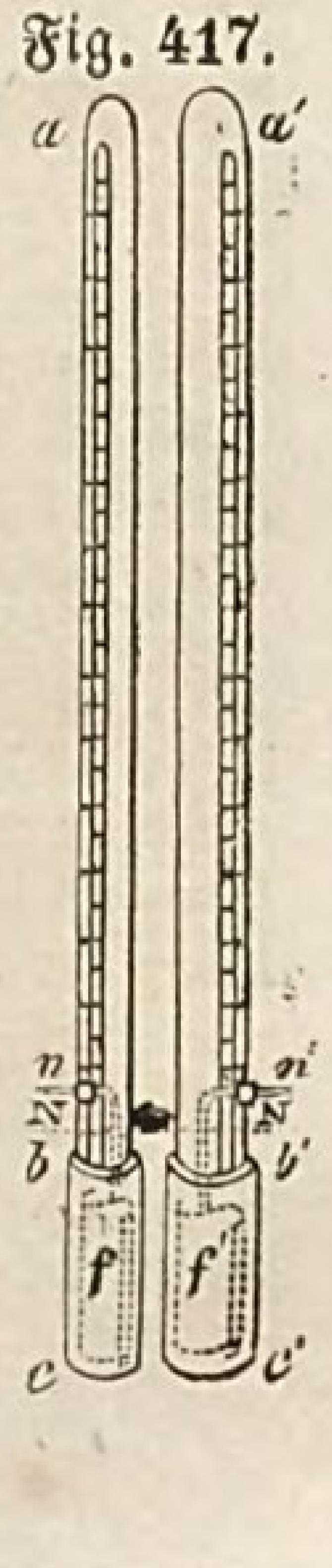


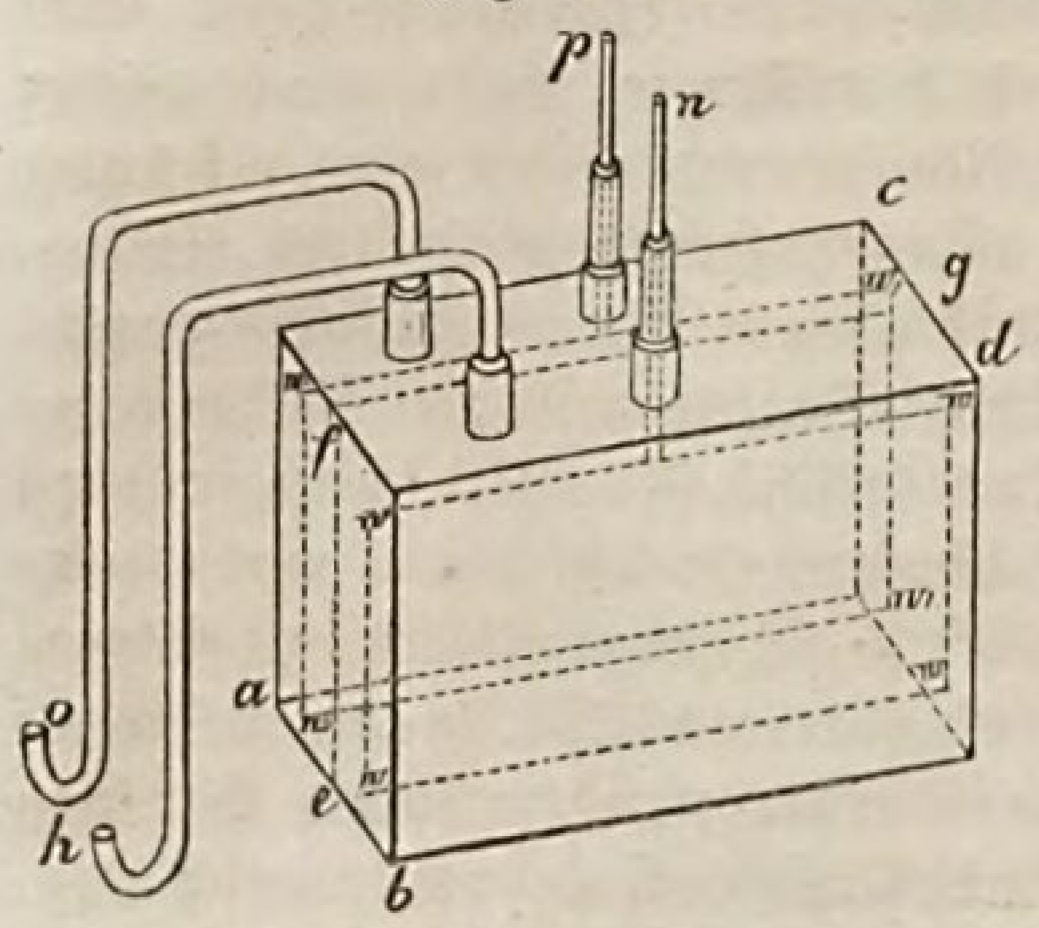
Fig. 417.



Ein Wasserzersetzungsapparat mit Elektroden aus Platinstreifen (1, 2) ist in Fig. 416 abgebildet, die gewiß keiner weiteren Erklärung bedarf. Die Einrichtung, welche Poggendorff dem Wasserzersetzungsapparate gab, und wobei außer dem eben vorher erwähnten Vortheil großer Elektrodenflächen auch noch die Vortheile erreicht sind, daß der Stromweg durch die Flüssigkeit und die Communication zwischen den Elektroden nicht, wie bei den obigen Apparaten, zum großen Theil durch die Glaswände der Röhren unterbrochen ist, sieht man in den Fig. 417 und 418. Erstere stellt einen derartigen Apparat zur Auffangung kleinerer und letztere zur Ansammlung größerer Gasmengen dar. ab und a_1b_1 (Fig. 417) sind graduirte Glasröhren, die eine, zur Auffangung des Wasserstoffs bestimmte, von doppelt so großem Querschnitt als die andere. Beide münden unten in 3″ hohe, poröse Cylinder aus gebranntem, aber nicht glasirtem Thon, die mittelst Gyps auf dem Glase festgekittet und unten offen sind. In diesen Thoncylindern befinden sich Sförmig gekrümmte Platinplatten f, f′ von 2″ Länge und 1″ Breite, wovon jede mit einem angelötheten Platindraht (n, n′) versehen ist, der durch eine verkorkte Oeffnung seitwärts aus der Röhre hervor-

tritt, um damit durch passende Klemmen die Stromquelle (Batterie) vereinigen zu können. Die Füllung des Apparates mit der zu zersetzenden Flüssigkeit geschieht, indem man das geschlossene Röhrenende (z. B. a) nach unten kehrt, das Ganze bis zum Rande c vollgießt, hernach eine angefeuchtete Pappscheibe oder eine Scheibe aus Tafelkautschuk darauf legt, so daß sie sich rings herum an den Rand c anschließt, nun wieder umkehrt, diesen Rand unter die Flüssigkeit taucht und endlich die Scheibe entfernt. Die Untertauchung geschieht etwa bis zur Linie NN, und die Röhren werden dann so festgestellt, daß die Thoncylinder einander berühren und die Platinplatten f, f' ihre breiten Seiten einander zukehren. An der Stelle der Thongefäße kann man mit gleichem Vortheil ihnen gleichgestaltete Futterale aus dichtem Drahtnetz, Haartuch oder Leinwand anwenden, da alle derlei Gewebe unter einer Flüssigkeit die Gase vollständig zurückhalten. Dann muß aber jede Röhre, um sie füllen zu können, oben mit einem Hahne versehen sein, an welchem gesogen wird, nachdem sie bis zur Linie NN in die Flüssigkeit getaucht worden. In Fig. 418 ist abcd ein 6" langer, 6" hoher und 2" breiter, parallelepipedischer poröser Thonkasten, der seiner Länge nach durch eine dünne poröse Thonwand efg in zwei Zellen getheilt wird, unten ganz offen ist und oben für jede Zelle zwei Durchbohrungen hat, die eine, um den Stiel p oder n der platinenen und mit der Thonwand fast ganz gleich großen Elektrodenplatten w w und w_1 w_1 durchzulassen, die andere, um die gekrümmten Röhren o und h aufzunehmen, die in eine pneumatische Wanne führen, wo die entwickelten Gase in gewöhnlicher Weise aufgefangen werden. Die Stiele p, n sind von Glasröhren umschlossen, die mittelst Korkstöpsel in den betreffenden Oeffnungen befestigt sind. Beim Gebrauche wird der Kasten abcd als Gasometer in eine Wanne von glasirtem Steingut etwa 2" tief unter die Oberfläche der zu zersetzenden Flüssigkeit gestellt.

Fig. 418.



Besteht die Anode statt aus Platin, aus Zink, Eisen oder einem anderen Metall, das sich mit dem Sauerstoffe unmittelbar chemisch verbinden kann (direkt oxydirbar ist); so entwickelt sich kein Sauerstoffgas, sondern dieses verbindet sich gleich bei der Ausscheidung aus dem Wasser mit dem Metalle.

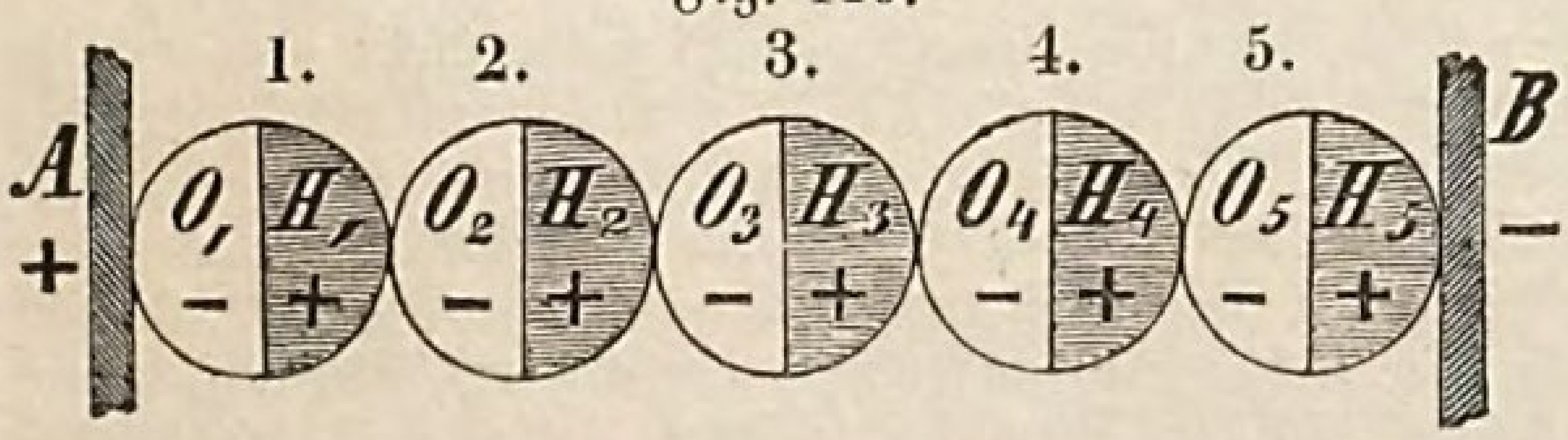
In ähnlicher Weise erfolgt auch die Zerlegung sehr vieler anderer zusammengesetzter Körper durch den Strom Volta'scher Batterien. So gibt Salzsäure an der Anode Chlor, an der Kathode Wasserstoff, und Kali gibt an der ersteren Elektrode Sauerstoff und an der letzteren Kalium ab. Bei der elektrochemischen Zerlegung der Salze (z. B. des Glaubersalzes) scheidet sich die Säure (die Schwefelsäure) an der positiven und die Basis (das Natron) an der negativen Elektrode ab. Oft wird aber zugleich auch die Säure oder die Basis zersetzt und zwar zu Folge einer sekundären Wirkung von Seite der Bestandtheile des von dem Strome ebenfalls zerlegten Auflösungsmittels. So erscheint, wenn eine Auflösung von Kupfervitriol (schwefelsaurem Kupferoxyd) der Elektrolyse unterworfen wird, an der Kathode reines, metallisches Kupfer .... (1), weil der daselbst ausgeschiedene Wasserstoff des zersetzten Wassers das von der Schwefelsäure getrennte Kupferoxyd reducirt (sich mit dem Sauerstoff dieses Oxydes zu Wasser verbindet). Solche sekundäre oder indirekte Zerlegungen finden auch bei Stoffen, die keine Salze sind, z. B. bei der Salpetersäure Statt, wo der Wasserstoff des in dieser Säure immer vorhandenen Wassers mit einem Theile ihres Sauerstoffes Wasser bildet, und dadurch die Ausscheidung von salpetriger Säure veranlaßt. Andere Beispiele von Elektrolysen, die sekundäre Zersetzungsresultate liefern, werden wir in dem Folgenden ohnehin näher zu besprechen haben .... (2). Bei vielen Stoffen gelingt die Elektrolyse nur in Folge ähnlicher sekundärer Wirkungen.

Der elektrische Strom bewirkt aber nicht blos chemische Zerlegungen, sondern ist auch sehr geeignet, das Zustandekommen chemischer Verbindungen zu begünstigen. So werden, Platin und Gold ausgenommen, fast die sämmtlichen andern Metalle, zur positiven Elektrode eines entsprechend kräftigen Stromes gemacht, in ganz rei-

nem Wasser und bei Ausschluß der Luft oxydirt, was sonst bekanntermaßen nicht der Fall ist, und chemisch reines Zink, welches von (mit Wasser) verdünnter Schwefelsäure gar nicht angegriffen wird, erfährt, in Berührung mit Kupfer oder Silber, (zum positiven Gliede einer elektrischen Kette gemacht,) eine sehr rasche Zerstörung, indem es durch den Sauerstoff des zersetzten Wassers schnell oxydirt und das gebildete Oxyd von der Säure immer gleich aufgelöst wird.

225. Erklärung des Herganges bei der Elektrolyse. Wir wissen aus **210**, **212** und **213**, daß ungleichartige Körper, wenn sie mit einander in Berührung treten, entgegengesetzt elektrisch werden und eine bestimmte elektrische Differenz annehmen, daß sie in diesem Zustande so lange verharren, als die Berührung dauert, und daß derselbe nicht durch die Größe-Verhältnisse der betreffenden Körper, sondern einzig und allein durch ihre materielle (chemische) Beschaffenheit bedingt wird. Dies Alles berechtigt zu dem Schlusse, daß auch die unendlich kleinen ungleichartigen Theilchen (Atome), durch deren Nebeneinanderlagerung und Verbindung man sich die chemisch zusammengesetzten Körper gebildet denkt, (**9**), so lange diese Nebeneinanderlagerung dauert, im entgegengesetzt elektrischen Zustande sich befinden *). Da nun (um den in Rede stehenden Gegenstand an einem Beispiele deutlich zu machen) in einem Atome Wasser immer ein Atom Sauerstoff neben einem Atom Wasserstoff gelagert gedacht wird, und nach dem Gesetze der Spannungsreihe (S. 428) der Sauerstoff beim Contacte mit Wasserstoff negativ, letztere aber positiv erregt wird; so muß im Wasser (einem Aggregate aus lauter neben einander gelagerten Wasseratomen) fortwährend jedes Sauerstoffatom negativ, und jedes Wasserstoffatom positiv elektrisch sein. Befindet sich daher Wasser zwischen den Polen einer Volta'schen Kette, z. B. in einem Zersetzungsapparate zwischen den als positive und negative Elektrode dienenden Platinplatten; so werden die Wasseratome von diesen Platten angezogen, und werden sich zu Folge dieser, so wie der unter ihnen selbst stattfindenden Anziehung, und vermöge der den Flüssigkeitstheilchen eigenen, großen Beweglichkeit so ordnen, daß alle Sauerstoffatome gegen die positive und alle Wasserstoffatome gegen die negative (Elektroden- oder Pol-) Platte gekehrt sind, wie es die Fig. 419 versinnlicht, worin A, B Theile der besagten Platten, die Kreise 1, 2, 3 u. s. w. Wasseratome, die weißen Hälften O_1, O_2, O_3 u. s. w. derselben Sauerstoffatome und die schraffirten H_1, H_2, H_3 u. s. w. Wasserstoffatome vor-

Fig. 419.



*) Die besonders durch Berzelius ausgebildete, elektrochemische Theorie geht noch weiter, indem sie annimmt, die entgegengesetzten Elektrizitäten, welche aus der wechselseitigen Berührung ungleichartiger Elementar-Körpertheilchen entspringen, seien die Grundursache aller chemischen Verbindungen, so daß eine solche Verbindung als bloße Folge der gegenseitigen Anziehung besagter Elektrizitäten und die chemische Anziehung (Affinität) als mit der elektrischen identisch betrachtet wird. Wenn gleich diese Theorie noch nicht außer allen Zweifel gestellt ist, so kann ihr doch keineswegs der hohe Werth abgesprochen werden, daß sie eine große Zahl wichtiger Thatsachen auf eine, wenn auch nicht immer mit der Erfahrung völlig übereinstimmende, doch mit derselben wenigstens nie im Widerspruche stehende Art in Zusammenhang bringt. Daß eine chemische Verbindung auch nicht die geringste Spur freier Elektrizität zeigt, kann keinen Einwurf gegen die elektrochemische Theorie bilden, weil die entgegengesetzten Elektrizitäten der ungleichartigen Elementartheilchen bei der großen Nähe, in welche diese in der Verbindung sich befinden, einander fast vollständig binden und die etwa an den Theilchen noch frei gebliebene + E und — E deswegen nicht bemerklich sein kann, weil die positiven und negativen Theilchen gleichförmig vertheilt sind, man daher bei Untersuchung des Körpers eben so viel + E als — E empfängt.

stellen. An den Elektroden oder Polplatten ist nämlich immer freie Elektrizität im Spannungszustande vorhanden *), und dem zu Folge wirken sie anziehend auf die mit ihnen entgegengesetzt elektrischen Elemente des Wassers. Ueberwiegt diese Anziehung jene der Atome unter einander, so entreißt je ein Theilchen der positiven Platte **A** einem angrenzenden Wasserstoffatome $\mathbf{H_1}$ das mit ihm verbundene Sauerstoffatom $\mathbf{O_1}$, ersteres ($\mathbf{H_1}$) verbindet sich dafür mit dem Sauerstoffatome $\mathbf{O_2}$ des folgenden Wassertheilchens 2 (wieder zu Wasser), das dadurch ausgeschiedene Wasserstoffatom $\mathbf{H_2}$ entzieht dem Wasseratome 3 seinen Sauerstoff $\mathbf{O_3}$, und so geht dies bis an die Platte **B** hin fort, an welcher endlich das Wasserstoffatom $\mathbf{H_5}$ des ihr nächsten der betrachteten Wasseratome (und zwar in Folge Verbindung von $\mathbf{H_4}$ mit $\mathbf{O_5}$) ausgeschieden wird **). Es findet demnach auf der ganzen Strecke zwischen den beiden Platten **A**, **B** beständig Zersetzung und gleich darauf folgende Wiederbildung von Wasser Statt, während an der positiven Platte Sauerstoff- und an der negativen Wasserstofftheilchen ausgeschieden werden, die sich mit den respektiven Platten chemisch zu verbinden streben; da aber eine solche Verbindung (wegen Mangel des hiezu erforderlichen Verwandtschaftsgrades zwischen diesen Stoffen und dem Platin) nicht möglich ist, sich nur an dieselben anlegen, so daß die positive Platte sich mit einer Sauerstoff-, die negative mit einer Wasserstoffschichte überzieht . . . (3), und alle nachher sich noch ausscheidenden Sauerstoff- und Wasserstofftheilchen keine freien Metallstellen mehr finden, an denen sie (durch Anziehung) festgehalten werden könnten, daher ihre Elektrizitäten an die entgegengesetzt elektrischen Gasschichten auf den Platten abgeben und dann in Gasform sich entwickeln (als Gasbläschen aufsteigen).

Man begreift nun von selbst, daß die elektro-chemische Zersetzung aller andern Elektrolyte durch einen dem eben beschriebenen ähnlichen Hergang erfolge, daß, wenn dem einen oder beiden der an den Elektroden sich abscheidenden Bestandtheile eine hinreichende Verwandtschaft zu den Elektroden oder zu andern an denselben vorhandenen Stoffen eigen ist, diese verwandten Stoffe sich chemisch verbinden werden, und daß so eine chemische Verbindung selbst zwischen Stoffen zu Stande kom-

---

*) Denn bei einer galvanischen Kette, deren Schließungsbogen einen mehr oder weniger unvollkommenen Leiter enthält (und solche sind alle Flüssigkeiten) können, des in ihr herrschenden Leitungswiderstandes wegen, nie die ganzen Mengen freier, entgegengesetzter Elektrizitäten, welche durch die elektromotorische Thätigkeit in einer bestimmten Zeit hervorgerufen werden, in der nämlichen Zeit zu einander übergehen und sich neutralisiren; es muß mithin in der geschlossenen Kette freie angehäufte (gespannte) Elektrizität vorhanden sein. In der That findet sich in allen geschlossenen Ketten noch durch einen zweiten Schließungsbogen ableitbare und auf den Condensator wirkende Elektrizität vor, und die Erfahrung lehrt, daß die Anhäufung (Spannung) dieser Elektrizität dort am größten ist, wo sie, wie im vorliegenden Falle, beim Uebergange in das Wasser auf den stärksten Widerstand stößt.

**) Um einzusehen, wie das Wasserstoffatom eines Wassertheilchens dem gleichen Atome des folgenden Wassertheilchens ein Sauerstoffatom, also wie das Atom H_1 dem Atome H_2 das Atom O_2 oder das Atom H_2 dem Atome H_3 das Atom O_3 u. s. f. entreißen könne, braucht man nur zu bedenken, daß vor der Losreißung des Atoms O_1 von H_1 durch die Wirkung der Platte A die Kraft, womit jedes Sauerstoffatom ein angränzendes Wasserstoffatom und umgekehrt jedes Wasserstoffatom ein angränzendes Sauerstoffatom anzieht, für alle Atome gleich groß, daß also die Anziehung des Atoms H_1 zwischen den Atomen O_1 und O_2, jene von O_2 zwischen H_1 und H_2 u. s. w. gleich getheilt ist, daß daher, nachdem die besagte Losreißung erfolgt und hiedurch die anziehende Wirkung von O_1 auf H_1 aufgehoben worden ist, dieses Atom H_1 offenbar eine größere Anziehung (Affinität) zu O_2 äußern müsse, als das Atom H_2. Eben so leuchtet ein, daß die Affinität zwischen H_2 und O_3 nicht mehr jener zwischen O_3 und H_3 gleich, sondern größer als diese sein werde, sobald nach Verbindung von H_1 mit O_2 die anziehende Wirkung dieses letzteren Atoms (O_2) weggefallen ist.

men könne, die unter andern Umständen den dazu nöthigen Grad von chemischer Verwandtschaft nicht besitzen, (da die aus dem entgegengesetzt elektrischen Zustande, in welchem die betreffenden Stoffe bei der Elektrolyse einander dargeboten werden, entspringende Anziehung mit der besagten Verwandtschaft wirkt, sie also unterstützt). Man nennt aus nun für sich klarem Grunde jenen Bestandtheil einer Verbindung, welcher bei ihrer Elektrolyse sich an der positiven Elektrode ausscheidet, den elektronegativen, und jenen der an der negativen Elektrode entbunden wird, den elektropositiven Bestandtheil dieser Verbindung, und es lassen sich alle einfachen Stoffe so in eine Reihe zusammenstellen, daß jedes Glied darin in Bezug auf jedes folgende sich elektronegativ, in Bezug auf jedes vorangehende aber elektropositiv verhält. Diese Reihe ist offenbar keine andere als die **213** besprochene Spannungsreihe, beginnt mit dem Sauerstoffe, endigt mit dem Kalium und ist in ihrer ganzen Ausdehnung folgende: Sauerstoff, Schwefel, Selen, Telur, Stickstoff, Chlor, Brom, Jod, Fluor, Phosphor, Arsenik, Kohlenstoff, Chrom, Molybdän, Bor, Vanadin, Wolfram, Antimon, Tantal, Niobium, Ilmenium, Pelopium, Titan, Silicium, Osmium, Gold, Iridium, Rhodium, Ruthenium, Platin, Palladium, Quecksilber, Silber, Kupfer, Uran, Wismuth, Blei, Cerium, Lanthan, Didim, Erbium, Therbium, Yttrium, Kobalt, Nickel, Eisen, Cadmium, Zink, Wasserstoff, Mangan, Circonium, Alumnium, Thorium, Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium, Barium, Lithium, Natrium, Kalium. Demnach ist Sauerstoff der elektronegativste und Kalium der elektropositivste unter allen einfachen Stoffen. Letztere haben aber ihre Stellung in dieser Reihe bei weitem nicht alle zu Folge direkter Versuche erhalten, vielmehr wurde dieselbe bei den meisten nur aus ihrem chemischen Verhalten abgeleitet und ist keineswegs überall als ganz erwiesen anzusehen.

Die gegebene, von Grotthuß herrührende Erklärung des Herganges bei elektrochemischen Zersetzungen führt zu dem Schlusse, daß die Leitung der Elektrizität durch einen Elektrolyten in einer fortwährenden Uebertragung der in jedem Atome desselben ursprünglich vorhandenen Elektrizitätsmenge von Atom zu Atom bestehe, und daß daher die Quantitäten des Elektrolyts, die zersetzt werden, mit den dabei durch ihn geleiteten Elektrizitätsmengen im innigen Zusammenhange stehen...(4). Es ist außer Zweifel gestellt, daß Elektrolyten den elektrischen Strom nur in so ferne leiten, als sie durch denselben zersetzt werden, oder, mit andern Worten, daß bei denselben die Leitung Folge der Zersetzung und durch diese bedingt ist.

Es kann auch nicht der schwächste Strom durch einen Elektrolyten gehen, ohne einen Theil desselben zu zerlegen (der aber oft so gering ist, daß die chemische Wirkung der Beobachtung sich entzieht und erst nach langer Einwirkung des Stromes merklich wird). Es ist aber bei Flüssigkeiten nicht auch umgekehrt Fähigkeit zur Zersetzung immer mit Leitungsfähigkeit verbunden.

Bei jeder Elektrolyse findet immer zugleich eine Ueberführung wenigstens eines der beiden Jonen von der einen Elektrode zur andern Statt. Ist z. B. der Elektrolyt eine Kupfervitriollösung, so wandert die Säure zur + Elektrode, ohne daß um diese Elektrode herum die Menge des Kupfers sich merklich vermindert; bei einer Lösung von Glaubersalz oder eines andern alkalischen Salzes hingegen wird stets die Säure zur + und das Alkali zur — Elektrode übergeführt. Um derartige Ueberführungen gut beobachten zu können, muß die zu elektrolysirende Flüssigkeit durch eine thierische Blase oder eine andere poröse Scheidewand in zwei Zellen gesondert und in die eine die + und in die andere Zelle die — Elektrode gebracht werden.

226. Elektrolytische Gesetze. Leitet man den Strom einer starken Volta'schen Batterie durch einen Wasserzersetzungsapparat (Fig. 415 S. 455), so wird darin in einer bestimmten Zeit (z. B. von 5 Minuten) eine gewisse Menge Gas erhalten (eine gewisse Menge Wasser zersetzt). Wird noch ein Wasserzersetzungsapparat in die Kette eingeschaltet, der Strom also genöthigt, zwei solche Apparate nach einander zu durchlaufen, so erhält man jetzt in jedem derselben während der nämlichen Zeit von 5 Minuten weit weniger Gas als vorher, die Gasmengen in beiden Apparaten sind aber ganz gleich. Führt man den Strom derselben Batterie

durch drei hinter einander angeordnete Wasserzersetzungsapparate, so beträgt das nach 5 Minuten angesammelte Gasquantum in jedem einzelnen der drei Apparate wieder bedeutend weniger als im zweiten Falle, und bei noch weiterer Vermehrung der Wasserzersetzungsapparate wird bald die Wasserzersetzung so schwach werden, daß die Gasmengen sich nicht mehr messen lassen. So lange sie aber noch meßbar sind, werden sie sich immer in allen Apparaten gleich groß zeigen, und dies wird stets der Fall sein, an welchen Stellen auch die Zersetzungsapparate in die Kette eingeschaltet worden, ob die Elektroden gleiche oder ungleiche Oberflächen haben, aus Drähten oder Platten von Platin bestehen, ob die letzteren eben oder gekrümmt sind, ob sie einander parallel oder nicht parallel gegenüber stehen, vom Strome rechtwinklig oder schief durchschnitten werden, ob endlich die Wasserschichte zwischen den Platten dicker oder weniger dick und das Wasser mehr oder weniger angesäuert ist. Aus diesem Allem folgt, daß mit jeder neuen, in die Kette eingeschalteten Wasserschichte dem Strome auch ein neuer, ihn schwächender Widerstand zuwächst, daß aber ein Strom von bestimmter Stärke auch eine bestimmte zersetzende Kraft besitzt, die er durch die Eigenschaft kund gibt, in festgesetzter Zeit eine gewisse Menge Wasser zu zerlegen... (†) und welche, gerade so, wie seine magnetische Kraft [(1) S. 445] in jedem Querschnitt des Schließungsbogens der Kette eine gleiche Größe hat... (††).

Leitet man den elektrischen Strom durch einen Wasserzersetzungsapparat und, nachdem er diesen verlassen hat, noch durch einen andern Elektrolyten; so sind die Gewichtsmengen der an den Elektroden sich abscheidenden Bestandtheile des letzteren mit den Gewichtsmengen der Bestandtheile des in gleicher Zeit zersetzten Wasserquantums chemisch äquivalent, und das nämliche Verhältniß zeigt sich zwischen den Bestandtheilen einer beliebigen Folge von Elektrolyten, die ein und derselbe Strom bei successiver Durchwanderung zersetzt: die Gewichtsmengen aller dieser in einerlei Zeit ausgeschiedenen Bestandtheile sind einander chemisch äquivalent*). Dieses wichtige von Faraday aufgefundene Gesetz der festen elektrolytischen Action berechtigt, — besonders bei Berücksichtigung der Thatsachen, welche zu der oben unter (†) gezogenen Folgerung führten — dem elektrischen Strome eine gewisse Elektrizitäts-Quantität zuzuschreiben und diese nach der Gewichtsmenge eines durch den Strom ausgeschiedenen Bestandtheiles irgend eines Elektrolyten, oder (was zu Folge Anmerkung * einerlei ist) nach der zersetzten Gewichtsmenge des Elektrolyten selbst zu beurtheilen und zwar ohne Berücksichtigung der Zeit, in welcher die besagte Ausscheidung oder Zersetzung erfolgte. Nimmt man zugleich auch diese Zeit in Betracht, so erwächst hieraus die Vorstellung der

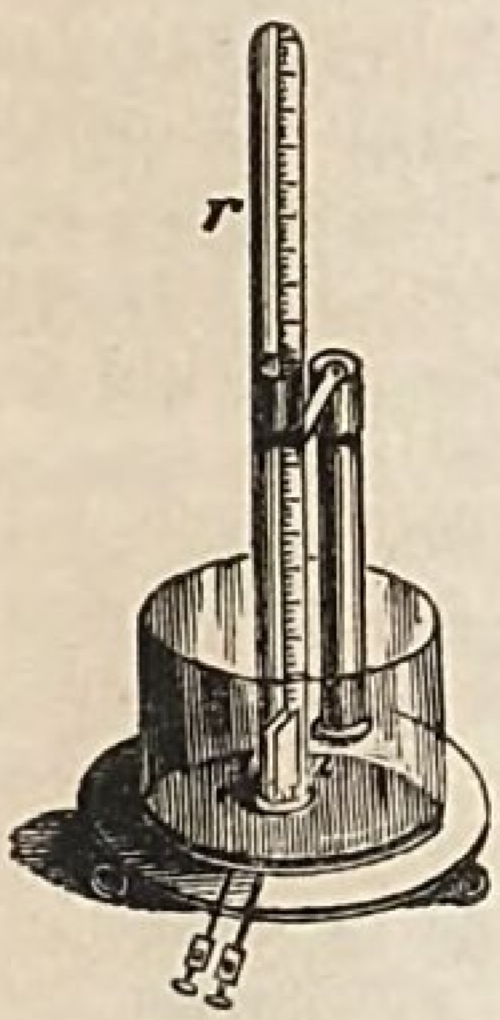
---

*) Sind z. B. die Elektrolyten, welche der Strom nacheinander durchläuft, Wasser, geschmolzenes Chlorsilber und geschmolzenes Chlorblei; so erhält man als Resultat ihrer Zersetzung in einerlei Zeit auf je 1 Gewichtstheil Wasserstoff, 8 Sauerstoff, 35·4 Chlor (und zwar von jedem der zwei Chlormetalle), 108 Silber und 103·8 Blei; dies sind aber die Gewichtsmengen, in welchen die genannten Stoffe sich in chemischen Verbindungen gegenseitig ersetzen d. i. einander chemisch äquivalent sind. Das elektrolytische Gesetz gilt übrigens nicht blos für binäre (nur zwei Bestandtheile enthaltende) Verbindungen, wie die in dem Beispiele gewählten Stoffe es sind, sondern ebenfalls für quaternäre Verbindungen (Verbindungen der zweiten Ordnung), und läßt sich (wie der Chemiker von selbst begreift) auch so ausdrücken: ein und derselbe Strom zersetzt von verschiedenen Elektrolyten in einerlei Zeit Gewichtsmengen, die sich wie die chemischen Aequivalente dieser Elektrolyten verhalten, oder was dasselbe sagt, chemisch äquivalente Massen sind. So sind 9 Gewichtstheile Wasser und 36·5 Gewichtstheile Salzsäure chemisch-äquivalente Massen und brauchen daher zu ihrer Zersetzung in Sauerstoff und Wasserstoff und in Chlor und Wasserstoff gleiche Elektrizitätsmengen. Die allgemeine Giltigkeit dieses Gesetzes liefert zugleich den kräftigsten Beweis, daß ein durch den Strom zersetzbarer Leiter nur so viel Elektrizität durchlassen kann, als der die Zersetzung erfahrenden Menge desselben entspricht. [(4) S. 459.]

Stärke oder Intensität des Stromes. Ist also durch einen elektrischen Strom z. B. eine gewisse Menge Wasser zerlegt worden, so ist eine gewisse Elektrizitätsmenge durch das Wasser gegangen; der Strom war aber um so stärker, in einer je kürzeren Zeit diese Menge Wasser zerlegt wurde, oder je größer die in bestimmter Zeit zersetzte Wassermenge ist.

227. Messen der Stromstärken. Die eben erörterte Beziehung zwischen der durch einen Strom zerlegten Menge eines Elektrolyten und der Quantität und Intensität des Stromes, so wie der Umstand, daß das Wasser (im angesäuerten Zustande) leicht zersetzbar, immer in derselben Qualität zu haben und daß die zersetzte Quantität desselben durch Auffangen der entbundenen Gase in einer graduirten d. i. mit einer Volumscale versehenen Glasröhre leicht zu messen ist, (kennt man aber das Volum der Gase, so ergibt sich aus diesem und ihrer bekannten Dichte leicht das Gewicht derselben und der zersetzten Wassermenge,) machen den mit einer solchen Glasröhre versehenen Wasserzersetzungsapparat zu einem guten und bequemen Strommesser, als welcher er, nach Faraday, den Namen Volta-Elektrometer oder Voltameter führt und in Fig. 420 (wo r die graduirte Röhre und 1, 2 die Platin-Elektroden vorstellen) anschaulich gemacht ist. Offenbar sind die Stromstärken den in gleichen Zeiten und unter sonst gleichen (wesentlichen) Verhältnissen entbundenen Gasmengen direkt proportional. Als Zersetzungsflüssigkeit eignet sich am besten reine verdünnte Schwefelsäure von 1·3 spezifischem Gewicht, weil man bei dieser Concentration allen freiwerdenden Wasserstoff gewinnt, was bei größerem Wassergehalt weniger sicher der Fall ist. Es ist nur zu bemerken, daß die Anwesenheit dieses Instrumentes im Schließungskreise der Stromquelle durch den Leitungswiderstand, den es übt, auf die Stärke des bestehenden Stromes selbst einen großen Einfluß nimmt, und noch keinen sichern Schluß auf die Kraft gestattet, welche eine gegebene Volta'sche Batterie auszuüben vermag, wenn das Volta-Elektrometer aus dem Schließungskreise entfernt wird. Da bei genauer Vergleichung der durch elektrische Ströme bewirkten Wasserzersetzungen mit den durch dieselben Ströme hervorgebrachten Ablenkungen der Galvanometernadel die (mittelst des Galvanometers gemessenen) magnetischen Kräfte dieser Ströme (**221**) den durch sie in gleichen Zeiten zersetzten Wassermengen, somit auch ihren Intensitäten direkt proportional gefunden werden; so geben offenbar die in **222** und **223** als zum Messen der magnetischen Stromkräfte dienlich beschriebenen Galvanometer auch das Maß der Stromstärken. Diese sind also bei der Sinusbussole den Sinus und bei der Tangentenbussole den Tangenten der durch die betreffenden Ströme bewirkten Ablenkungen der Magnetnadel proportional.

Fig. 420.



Zur Messung von Stromstärken ist eine Einheit erforderlich. Unter den verschiedenen in Vorschlag gebrachten Stromstärke-Einheiten verdient, vom Standpunkte der praktischen Bedürfnisse aus gewürdigt, unstreitig die von Jacobi zuerst angewendete den Vorzug; es ist diese Einheit derjenige Strom, der in 1 Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas (von 0^0 Temperatur und bei einem Luftdruck von 760 Millimeter) liefert. Durch Vergleichung der Wasserzersetzung mit der (durch den nämlichen Strom bewirkten) Nadelablenkung an einem Galvanometer, z. B. an der Tangentenbussole, lassen sich leicht die Galvanometer-Angaben auf die Jacobi'sche Stromeinheit zurückführen. Man hat zu diesem Ende offenbar folgendermaßen zu verfahren. Man läßt den Strom gleichzeitig durch die Tangentenbussole und ein Voltameter (am besten ein solches, bei welchem wie bei dem in Fig. 420 abgebildeten, Sauerstoff und Wasserstoff zu Knallgas gemengt erhalten werden) gehen, mißt das Knallgas-Volum v, das in 1 Minute geliefert wird, und reducirt dasselbe, wenn es nicht bei 0^0 Temperatur und 760 Millimeter Barometerstand erzeugt wurde, auf diese Normalpunkte; es sei dann v_1. Ist m die Tangente des an der Tangen-

tenbussole beobachteten Ablenkungswinkel, so ist $\frac{V_1}{m} = n$ die der Tangente 1 entsprechende Gasmenge, und man hat demnach die Tangente des durch einen Strom an der Tangentenbussole bewirkten Ablenkungswinkel nur mit (dem Reduktionsfaktor) n zu multipliziren, um die Anzahl Kubikcentimeter Knallgas bei 0^0 Temperatur und 760 Millimeter Barometerstand, die derselbe Strom in der Minute erzeugen würde, d. i. die Stromstärke, nach der Jacobi'schen Stromeinheit ausgedrückt, zu erhalten. Daß ganz auf ähnliche Art die Angaben einer Sinusbussole auf die chemische Stromeinheit sich zurückführen lassen, wird nun von selbst klar sein.

228. Chemischer Vorgang in der geschlossenen Volta'schen Kette selbst. Dem Vorhergehenden zu Folge ist der beim Schließen einer einfachen oder zusammengesetzten Volta'schen Kette entstehende Strom nicht blos im Schließungsleiter, sondern gleichfalls in der Kette selbst vorhanden und muß daher auch eine seiner zersetzenden Kraft entsprechende Quantität der Flüssigkeit zerlegen, womit die Volta'schen Elemente der Kette in Berührung sind. Die Erfahrung weist dies wirklich überall nach. In einer aus Zink, Kupfer und verdünnter Schwefelsäure gebildeten Kette entwickelt sich in allen Kupferplatten Wasserstoff und es lagert sich auf denselben eine Schichte davon ab, während alle Zinkplatten sich mit Zinkoxyd überziehen. Ist in den Schließungsbogen ein Galvanometer eingeschaltet, so sieht man, daß der Strom mit fortschreitender Zersetzung des flüssigen Leiters an Stärke auffallend immer mehr abnimmt und nach Kurzem entweder ganz verschwunden oder auf ein noch längere Zeit unverändert fortdauerndes Minimum herabgesunken ist. . . . . (1). Wird die Kette geöffnet und einige Zeit offen gelassen, so zeigt nachher der Strom sich wieder stärker, und wurden überdies die Metallplatten aus der Kette genommen und sorgfältig gereinigt, so hat der Strom dann wieder seine ursprüngliche Stärke.

Bringt man in den Stromkreis einen Wasserzersetzungsapparat, und vergleicht die Zinkmenge, die in einer der Zersetzungszellen der Volta'schen Kette verbraucht (oxydirt) wird und welche, da nach **226** der Strom im ganzen Kreise überall die nämliche Stärke hat, in allen diesen Zellen gleichviel betragen soll, mit der während derselben Zeit im Wasserzersetzungsapparate zerlegten Wassermenge; so findet man dieselbe (die Zinkmenge) keineswegs in allen Zellen gleich groß, und überall weit größer als sie nach dem Faraday'schen Gesetze der chemischen Aequivalente sein sollte. Der allgemeinen Giltigkeit eben dieses Gesetzes wegen kann dies nur von lokalen, vom elektrischen Strome ganz unabhängigen chemischen Actionen herkommen . . . (†). Die Ursachen, aus welchen die Zersetzung der Flüssigkeit in der Kette eine solche Abnahme der Stromstärke bewirkt, sind aber folgende: 1. Die Oxydschichten, welche die Zinkplatten, und die Wasserstoffschichten, welche die Kupferplatten überziehen, vermehren sehr beträchtlich den Leitungswiderstand in der Kette; 2. die Schwefelsäure (des flüssigen Leiters) verbindet sich mit dem gebildeten Zinkoxyde zu schwefelsaurem Zinkoxyd, dieses wird dann durch den Strom wieder zerlegt, es setzt sich auf dem Kupfer metallisches Zink ab (welches aus dem am Kupfer sich abscheidenden Zinkoxyde durch den daselbst ebenfalls entwickelten Wasserstoff reduzirt wird), und aus dem Contacte dieses Zinkes mit dem Kupfer entspringt ein neuer Strom, der mit dem ursprünglichen Strome in der Kette die entgegengesetzte Richtung hat, ihn daher schwächt. 3. Ein eben solcher dem ursprünglichen Strome entgegengesetzter und denselben schwächender, secundärer Strom entsteht auch aus der Berührung des Kupfers mit dem darauf sich ablagernden Wasserstoffe, welcher nach der Spannungsreihe sich gegen Kupfer noch mehr positiv verhält als Zink. Um daher die aus der Zersetzung des flüssigen Leiters der Kette entspringende rasche Abnahme der Stromstärke zu verhindern und einen Volta'schen Strom von, längere Zeit hindurch constant bleibender Stärke zu erhalten, ist vor Allem dafür zu sorgen, daß sich nicht mehr Zinkoxyd bilde, als

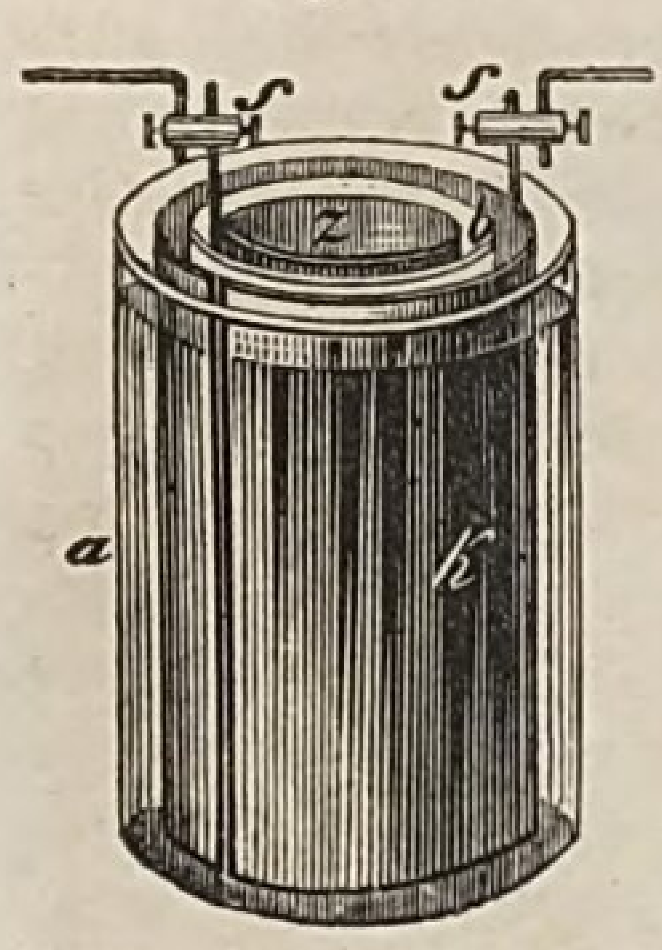
gerade der zersetzenden Kraft des Stromes entspricht, und somit nicht verhindert werden kann; man hat demnach jener lokalen, chemischen Aktion zu steuern, welche aus der Verunreinigung des käuflichen Zinkes mit Kohlenstoff und Eisen hervorgeht, indem dort, wo diese Gemengtheile an der Oberfläche des Zinkes zugleich mit diesem und mit der Flüssigkeit in Berührung stehen, elektrische Ströme entspringen, welche die Oxydation des Zinkes vermehren. Werden die Zinkplatten an der ganzen Oberfläche amalgamirt d. i. mit Quecksilber überzogen*); so ist durch diesen überall ganz gleichartigen Ueberzug die vorerwähnte Berührung der heterogenen festen Theile zugleich mit der Flüssigkeit beseitigt (Eisen und Kohle, die sich mit dem Quecksilber nicht verbinden können und vielleicht zum größten Theil ausgeschieden werden, verschwinden von der Zinkoberfläche), daher die besagte lokale chemische Aktion unmöglich gemacht. Die in 2. als stromschwächend nachgewiesene Ablagerung von Zink auf den Kupferplatten kann dadurch lange Zeit hintangehalten werden, daß man jede Zinkplatte von jener Kupferplatte, mit der sie durch die Flüssigkeit in Verbindung steht, mittelst einer porösen Scheidewand (am besten aus thierischer Blase oder aus gebranntem, aber unglasirtem Thone) trennt, welche zwar ungehindert den Strom, jedoch nur schwer und äußerst langsam die Flüssigkeit durchläßt, so daß der in dieser aufgelöste, an der Zinkplatte sich bildende Zinkvitriol (schwefelsaure Zinkoxyd) erst nach sehr langer Zeit in merklicher Menge zum Kupfer gelangen, mithin daselbst nicht eher Zersetzung desselben und Ablagerung von Zink eintreten kann. Die Ablagerung einer, in ähnlicher Weise nachtheiligen Wasserstoffgas-Schichte auf den Kupferplatten oder den ihre Stelle vertretenden andern elektronegativen Gliedern der Kette wird verhindert, entweder indem man diesen, ohne dadurch ihre elektromotorische Wirksamkeit oder die Stromleitung zu vermindern, an der Oberfläche eine solche Beschaffenheit gibt, daß die an derselben ausgeschiedenen Bläschen von Wasserstoffgas daran nicht hängen bleiben können, sondern gleich nach der Ausscheidung in der Flüssigkeit emporsteigen (und in die Luft übergehen) müssen . . . . (†), oder aber dadurch, daß man die elektronegativen Glieder der Kette mit einem Elektrolyten umgibt, durch dessen gleichfalls vor sich gehende Zersetzung ein Stoff ausgeschieden wird, welcher, indem er selbst oder einer seiner Bestandtheile sich mit dem an den besagten Gliedern auftretenden Wasserstoff chemisch verbindet, denselben wegschafft, ohne daß das Produkt dieser Verbindung, durch Contact mit diesen Gliedern, deren elektromotorische Wirksamkeit oder Stromleitung verringert . . . (††).

229. Die constanten elektrischen Ketten. Auf die eben erläuterten Mittel, aus einer Volta'schen Kette Alles zu entfernen, was die oben besagte Schwächung ihres Stromes bewirkt, gründet sich die Einrichtung der soge-

*) Dieses Amalgamiren gelingt leicht, wenn man auf die vorher mit verdünnter Schwefelsäure oder Salzsäure gereinigten Platten etwas Quecksilber bringt und dasselbe etwa mittelst eines Hasenlaufes durch Reiben gleichförmig ausbreitet. Noch viel schneller kommt man zum Ziele, indem man die Platten in senkrechter Richtung in Quecksilber versenkt, auf dessen Oberfläche sich einige Linien hoch Salzsäure befindet, und nachher gleich wieder herauszieht. In der ersten Zeit nach vorgenommener Amalgamirung neuen Zinkes ist man oft bald genöthigt, es stellenweise, wo es schwarz und angegriffen worden ist, mit Quecksilber nachzubessern und sogar wieder vollständig zu amalgamiren, denn schon nach einigen Stunden schwärzt sich das Zink stellenweise, erhitzt sich und veranlaßt dann eine starke Gasentwicklung. Nach und nach durchdringt jedoch das Quecksilber die Masse des Zinkes und es tritt ein Zeitpunkt ein, wo dieses für immer amalgamirt ist. Bei Zinkblech von 5 Millimeter Dicke reichen 4—5 zu verschiedenen Zeiten vorgenommene Amalgamirungen hin, diesen Zustand bleibender und vollkommener Amalgamirung herbeizuführen. Es ist daher vortheilhaft, das Zink vor der Anwendung alt werden zu lassen (indem man an demselben das in sein Inneres eingedrungene Quecksilber immer wieder ersetzt), und sich einen Vorrath von amalgamirtem Zink zu halten.

nannten constanten (einen Strom von constanter Stärke liefernden) elektrischen Ketten, die so allgemeine Aufnahme gefunden haben, daß seit ihrer Erfindung die früheren nassen (hydroelektrischen) Ketten aus der Wissenschaft und aus der Praxis fast gänzlich verschwunden sind. Die vorzüglichsten constanten Ketten sind die Daniell'sche, die Grove'sche, die Bunsen'sche und die Smee'sche Kette (nach ihren Erfindern so benannt). Das Folgende enthält die Beschreibung nur der einfachen constanten Ketten, indem die Verbindung derselben zu zusammengesetzten Ketten sich leicht vorstellen läßt.

Fig. 421.

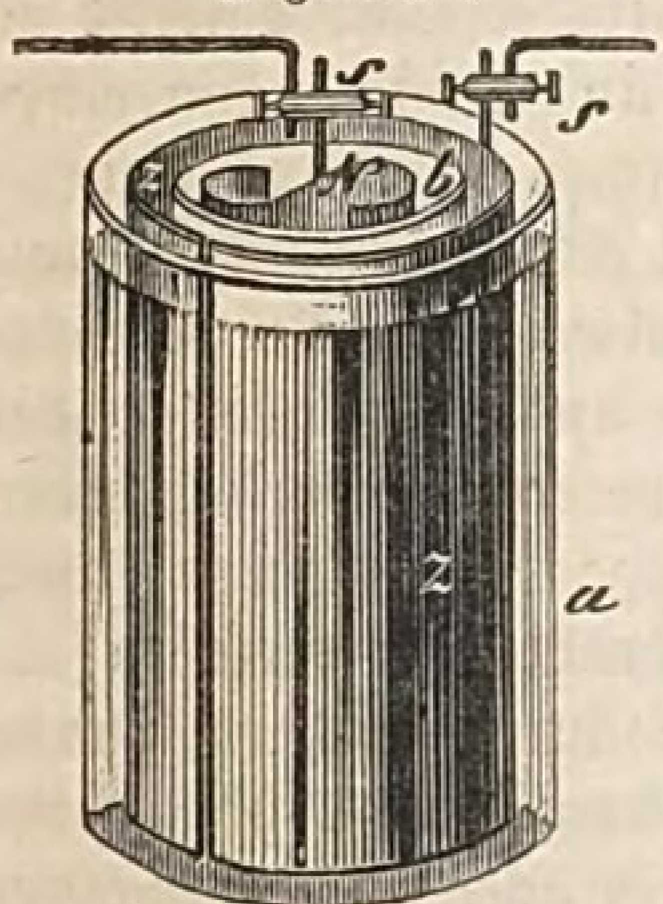


Die Daniell'sche constante Kette (Fig. 421) ist eine Zink-Kupfer-Kette und besteht im Wesentlichen am gewöhnlichsten aus einem Glascylinder a, worin eine cylindrisch zusammengebogene, blank gescheuerte Kupferplatte k steht, die einen unten geschlossenen, gleichförmig porösen Cylinder b aus feinem, gutgebranntem, aber nicht glasirtem Thone einschließt, in welchem sich wieder eine cylindrisch gebogene, gut amalgamirte Zinkplatte z befindet. Der Thonbecher (Thonzelle, Diaphragma) ist mit (durch das 10—12fache Volum Wasser) verdünnter Schwefelsäure und der Raum im Glasgefäße außerhalb dieser Thonzelle ist mit einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol (schwefelsaurem Kupferoxyd) in Wasser gefüllt. Bei dieser Kette, — deren Schließung am bequemsten mittelst kupferner oder messingener Schraubenklemmen s, s geschieht, die an, von dem Zink- und von dem Kupfergliede emporstehenden und daran festgenieteten oder festgelötheten Kupferdrahtstücken festgeklemmt sind und zugleich Drähte, welche mit den der Wirkung des Stromes auszusetzenden Körpern in Verbindung stehen, (überhaupt die Enden des betreffenden Schließungsbogens) aufnehmen können, wird die unter (††) S. 463 angegebene Bedingung dadurch erreicht, daß der zu Folge Zersetzung des vorhandenen Wassers an der Kupferplatte ausgeschiedene Wasserstoff sich sogleich mit dem Sauerstoffe des (ebenfalls durch Zersetzung von der Schwefelsäure g trennten) Kupferoxydes wieder zu Wasser verbindet, indem das dabei aus dem Oxyde reducirte und auf dem Kupfergliede der Kette sich ablagernde reine Kupfer, wegen seiner Gleichartigkeit mit diesem Gliede, dessen elektromotorische Thätigkeit nicht stören, auf die Stromleitung aber deswegen nur einen günstigen Einfluß üben kann, weil es die Oberfläche des besagten Gliedes immer metallisch blank erhält. Damit jedoch diese günstige Wirkung in gleichem Grade fortdauern könne, muß die Vitriollösung immer gesättigt erhalten werden, zu welchem Behufe der Lösung des Kupfervitriols Stücke dieses ungelösten Salzes entweder von Zeit zu Zeit oder gleich anfangs im Ueberschusse zuzusetzen sind, die sich dann nach und nach in dem Maße auflösen, als Kupfer aus der Lösung ausgeschieden wird. Da die Schwefelsäure in der Thonzelle das an der Zinkplatte sich ablagernde (durch den Sauerstoff des zersetzten Wassers gebildete und durch die Amalgamirung ohnehin auf das Minimum reducirte) Zinkoxyd auch immer gleich auflöst und entfernt; so behalten die Metallplatten und die Flüssigkeiten der Kette im Wesentlichen ihre ursprüngliche Beschaffenheit und somit der Strom seine ursprüngliche Stärke (er bleibt constant). In Betreff der Dauer dieser Constanz wirkt der Umstand günstig, daß zu Folge Endosmose (**122**) die aus dem Kupfervitriol frei werdende Schwefelsäure ziemlich rasch in die Thonzelle hinüberwandert, Kupfervitriol- und Zinkvitriollösung aber durch die poröse Scheidewand nur sehr langsam zu einander übergehen. Daß bei einer aus mehreren einfachen Daniell'schen Ketten zusammengesetzten Batterie an den einzelnen Plattenpaaren und in den Flüssigkeitsschichten genau das Nämliche vor sich gehe, was eben für die einfache Kette

dargethan wurde, und daß man zum Behufe einer solchen Zusammensetzung nur immer die Schraubenklemme an der Zinkplatte einer einfachen Kette mit einer ähnlichen Klemme an der Kupferplatte einer folgenden einfachen Kette durch einen Drahtbogen zu verbinden brauche, so wie daß eine solche Verbindung jede beliebige Stellung der betreffenden einfachen Ketten gegen einander gestatte, begreift Jedermann.

Wheatstone änderte Daniell's Batterie dahin ab, daß er die poröse Thonzelle, anstatt in dieselbe die Zinkplatte und verdünnte Schwefelsäure zu bringen, mit ziemlich flüssigem Zinkamalgam oder mit, eine noch größere elektromotorische Kraft begründendem Kaliumamalgam füllt. Die Batterie gibt nach Einschaltung großer Leitungswiderstände einen sehr constanten Strom, ist aber nicht geeignet zur Erzeugung constanter und zugleich starker Ströme.

Fig. 422.



Die constante Grove'sche Zink-Platin-Kette (1838 entdeckt) in einfachster und doch recht entsprechender Form (Fig. 422), unterscheidet sich von der Daniell'schen Kette dadurch, daß die Thonzelle b mit Salpetersäure (je concentrirter desto besser) gefüllt ist, in welche eine Platte N ganz dünnen Platinbleches taucht (der man, um ihr eine größere Ausdehnung und die zum Aufrechtstehen nöthige Steifheit zu geben, so krümmen kann, daß sie von oben angesehen einem lateinischen *S* gleicht), und die cylindrisch gebogene, amalgamirte Zinkplatte **z** steht um die Thonzelle herum im Glase **a** und in verdünnter Schwefelsäure. Bei dieser Kette wird der an der Platinplatte sich abscheidende Wasserstoff des zersetzten Wassers immer durch einen Theil des Sauerstoffes der Salpetersäure entfernt, mit dem er wieder Wasser bildet, während die des Sauerstoffes beraubten Antheile der Säure als irrespirable salpetrigsaure Dämpfe in die Luft übergehen.

Um diese den Experimentator in oft unerträglicher Weise molestirenden Dämpfe zu verhüten, kann, jedoch nach Poggendorff's Untersuchungen mit beträchtlichem Nachtheil für die Kraft und Stromconstanz der Kette, anstatt Salpetersäure Chromsäure (eigentlich ein Gemisch von chromsaurem Kali und Schwefelsäure, nämlich 3 Theile Kali, 4 Theile concentrirte Schwefelsäure und 18 Theile Wasser) angewendet werden. Es verbindet sich dann der Wasserstoff mit einem Theile des Sauerstoffs der Chromsäure und in der Flüssigkeit bleibt schwefelsaures Chromoxyd-Kali zurück. Grove hat seiner Kette ursprünglich eine Einrichtung gegeben, bei welcher die Thonzelle einen länglich viereckigen Trog darstellte, die Zinkplatte in der nämlichen Gestalt um diesen Trog herumgebogen, das Platin als ebene Platte in demselben und das Ganze in einem ebenfalls rechtwinkligem Troge von Glas oder Porzellan enthalten war. Allein man hat diese Form der Platinkette bald verlassen und die vorher beschriebene angenommen, weil sie einfacher ist und die dabei erforderlichen cylindrischen Thonzellen leichter zu verfertigen und weniger gebrechlich sind als die rechtwinkligen. Die Verbindung Grove'scher einfacher Ketten zu zusammengesetzten geschieht in gleicher Art wie bei den Daniell'schen Ketten. Callan substituirt dem Platin platinirtes Blei und der concentrirten Salpetersäure, mit Schwefelsäure versetzte Salpetersäure oder (am besten) ein Gemisch von 4 Gewichtstheilen concentrirter Schwefelsäure, 2 Theilen Salpetersäure und 2 Theilen gesättigter Salpeterlösung, und fand diese Combination in ihrer Wirkung der Grove'schen ganz gleich, was auch Poggendorff bestätigte. Der Zusatz von concentrirter Schwefelsäure hat den Vortheil, das Blei gegen den Angriff von Seite der Salpetersäure zu schützen und die Anwendung einer verdünnteren, sonst in der Kette nicht brauchbaren Salpetersäure zu gestatten. Eine andere auch durch Callan empfohlene Combination unterscheidet sich von der eben besprochenen darin, daß Gußeisen anstatt des platinirten Bleies das negative Glied bildet und daß dasselbe in ein Gemisch aus 12 Maß concentrirter Salpetersäure und $11^1/_2$ Maß concentrirter Schwefelsäure gestellt ist, während das amalgamirte Zink in ein Gemische von 5 Theilen Schwefelsäure, 2 Theilen Salpetersäure und 45 Theilen Wasser taucht.

Die Bunsen'sche constante Kette weicht im Wesentlichen nur darin von der Grove'schen ab, daß bei derselben das negative Glied statt aus Platin aus einem hohlen Kohlencylinder besteht, der dadurch erhalten wird, daß man ein gleichförmiges Gemenge von vollständig ausgeglühten, fein gepulverten Coaks mit

etwa der halben Quantität ebenfalls fein gepulverter, möglichst backender Steinkohlen in einer eisenblechernen Form (einer cylindrischen Büchse, die in der Mitte einen Cylinder aus Schachtelholz enthält und im Raume zwischen diesem und ihrer Wandung mit dem Coaks- und Kohlengemenge angefüllt ist) bei mäßigem Feuer glüht, die erhaltene poröse, lockere Masse noch in der Form mit concentrirter Zuckerlösung tränkt und endlich, nach erfolgter Trocknung, in einem mit Kohlenstücken angefüllten, feuerfesten Gefäße einer mehrstündigen Weißglühhitze (etwa in einem Töpferofen) aussetzt. Ein so zu Stande gebrachter Kohlencylinder läßt sich vermöge seiner bedeutenden Festigkeit im Erforderungsfalle auf der Drehbank und mit der Raspel noch vollkommener gestalten, wird namentlich am obern Rand (in der Breite von beiläufig einem Zoll) etwas konisch gedreht und daselbst nachher mit Wachs eingelassen, um das Eindringen der Salpetersäure daselbst zu verhindern, ohne das Leitvermögen merklich zu schwächen, und erhält dann einen auf den so präparirten Rand fest aufgesteckten, ebenfalls konischen Reif aus Kupfer, von welchem, zum Behufe des Schließens der Kette mittelst Klemmschrauben, wie bei den Zink- und Kupfergliedern der Daniell'schen Combination, ein Kupferdrahtstück emporragt. Die Anordnung der Elektromotoren und Flüssigkeiten der Kohlenkette ist die, daß der Kohlencylinder in einem die Salpetersäure enthaltenden Glasgefäße, die cylindrisch gebogene Zinkpatte (auch mit einem emporragenden Kupferdrahtstücke versehen) in dem mit der verdünnten Schwefelsäure gefüllten Thoncylinder, dieser aber in der Höhlung des Kohlencylinders steht. Die Zusammensetzung einfacher Ketten zu einer Batterie ist nun für sich klar. Der oben erwähnte Reif kann auch aus Zink verfertigt und (Fig. 423) mit der Zinkplatte z durch einen Zinkbogen b vereinigt werden; dann geschieht die eben besagte Zusammensetzung, indem man den Zinkreif a der in einem Thonbecher versenkten Zinkplatte immer auf den Kohlencylinder k in dem nächsten Glasgefäße aufsteckt.

Fig. 423.



Ist die Kohle porös und erhält man sie mit Salpetersäure imprägnirt, so kann man das Diaphragma auch weglassen und gewinnt dann nach Liais und Fleury (Compt. rend. 29. Nov. 1852 S. 802) eine 5 Mal größere innere Leitungsfähigkeit, was einer eben so oftmaligen Vergrößerung der Oberfläche an Wirkung gleichkommt. Zum Behuf des besagten Imprägnirterhaltens soll der Kohlencylinder mit einem Glascylinder umgeben werden, so daß zwischen beiden eine ringförmige Höhlung bleibt, die mit Salpetersäure gefüllt wird, nachdem beide Cylinder an ihren untern Enden mit Töpferthon oder einem passenden Kitt flüssigkeitsdicht vereinigt worden sind. Wird der mit Salpetersäure imprägnirt erhaltene Kohlencylinder ins Diaphragma gestellt, darin mit concentrirter Schwefelsäure und das Diaphragma auf der Zinkseite mit in gewöhnlicher Art verdünnter Schwefelsäure umgeben, so bleibt die Leitung beinahe die nämliche, die Spannung wird aber beiläufig doppelt so groß, wie bei der gewöhnlichen Bunsen'schen Kette.

Guignet substituirt bei der Bunsen'schen Kette ohne Nachtheil für ihre Stärke und Constanz, der Salpetersäure ein Gemenge aus Schwefelsäure von 52° B. (oder auch stärker verdünnt) und gröblich gepulvertem Mangansuperoxyd im Ueberschusse. Leroux fand dieses Gemenge nur bei gleichzeitiger Anwendung von Wärme (bis 75° C.) entsprechend (weil dieses Gemenge den zur Wegschaffung des an der Kohle sich abscheidenden Wasserstoffs nöthigen Sauerstoff bei gewöhnlicher Temperatur nur sehr langsam entwickelt) und erhielt da einen kräftigeren Strom als mit Salpetersäure. Auch empfiehlt Leroux bei gewöhnlicher Temperatur anstatt der reinen Salpetersäure Schwefelsäure, welche $^1/_{10}$ oder auch nur $^1/_{20}$ Salpetersäure enthält, als vortheilhaft. Die letztere Säure wirkt offenbar dadurch, daß sie wegen ihrer großen Verwandtschaft zum Wasser die Salpetersäure entwässert und zur Abgabe von Sauerstoff geeigneter macht (Compt. rend. 1853 vom 1. und 29. August S. 174 und 355).

Bei der Bunsen'schen und ebenso bei der Grove'schen Batterie wird das Quecksilber der amalgamirten Zinkplatten bald von der durch die Diaphragmen dringenden Sal-

petersäure angegriffen, und es muß daher das Amalgamiren sehr oft wiederholt werden. Nach Swan's Erfahrungen wird dieser kostspielige Uebelstand dadurch beseitigt, daß man in die verdünnte Schwefelsäure der Zinkzelle Glaubersalzkrystalle legt, weil dann das Quecksilber unangegriffen bleibt, so daß bei fortwährender Anwendung der Batterie das Amalgamiren erst nach Wochen wiederholt zu werden braucht. Wahrscheinlich beruht dieser Erfolg auf der Zersetzung des Glaubersalzes, wobei durch Bildung von salpetersaurem Natron die Salpetersäure gebunden wird, daher nicht auf das Quecksilber wirken kann. Die Glaubersalzkrystalle müssen immer wieder ersetzt werden, so daß die verdünnte Schwefelsäure stets eine gesättigte Auflösung bildet.

Die Bunsen'sche Batterie hat vor der Grove'schen den Vorzug bedeutend geringerer Kostspieligkeit und empfiehlt sich besonders dann, wenn man mit einer großen Anzahl von Elementen zu arbeiten und nur einige Stunden lang eine regelmäßige und constante Wirkung nöthig hat.

Sehr gute Kohlenkörper für diese Batterie erhält man aus den Gaskohlen (den als sehr feste und compacte Kruste in den Leuchtgasretorten bleibenden Rückständen), welche sich durch vorzügliche Leitungsfähigkeit auszeichnen. Die geschätzten Batterien Deleul's in Paris enthalten solche Gaskohlen in Gestalt von der Länge nach durchbohrten Cylindern, und es ist recht zweckmäßig und bequem, die leitende Verbindung zwischen je einem Kohlencylinder und der betreffenden, natürlich ebenfalls cylindrischen Zinkplatte durch einen ½—1 Zoll breiten Streifen aus Kupferblech hergestellt, welcher an dem einen Ende einen massiven konischen Zapfen aus Kupfer trägt, der in die oben ebenfalls konisch gestaltete Bohrung des Kohlencylinders, sich innig anschließend, eingesteckt ist, während das zweite Streifenende mit dem Ende eines an der Zinkplatte festgenieteten Kupferstreifens zusammengeklemmt ist und so damit in leitender Verbindung steht. Sind die Kohlencylinder so lang, daß sie 1—2 Zoll aus der Salpetersäure hervorstehen, und sind die hervorstehenden Enden überdieß mit Wachs eingelassen, so werden die besagten konischen Zapfen nur langsam und wenig von der Salpetersäure angegriffen, können übrigens immer sehr leicht herausgenommen und gereinigt und es kann so besser als bei jeder der besprochenen andern Einrichtungen eine Unterbrechung der Leitung in der Batterie hintan gehalten werden.

Schließlich mag noch der Kohlenbatterie von Fabre de Lagrange gedacht werden, welche nur eine Flüssigkeit enthält und Wochen ja Monate lang einen constanten Strom liefern soll. Sie besteht in Folgendem: In ein Gefäß, dessen Boden wie jener eines Blumentopfes in der Mite ein Loch hat, ist concentrisch ein cylindrisches, etwas weniger hohes Diaphragma aus Segeltuch eingesetzt und unten mittelst Kitt befestigt. In diesem Diaphragma befindet sich ein Stift von dichter Gaskohle, umgeben von Körnern desselben Materials, und um das Diaphragma herum befindet sich ein Cylinder von amalgamirtem Zink und angesäuertes Wasser, welches tropfenweise aus einem darüber angebrachten Behältniß zugeführt wird. Dasselbe wird einerseits über den Rand des Segeltuch-Diaphragma's hin auf die Kohlen fließen, diese beständig abspühlen und hiedurch die an denselben sich absetzenden Wasserstoffblasen losmachen (wo sie dann durch die Zwischenräume der Kohlenkörner emporsteigen und entweichen), andererseits werden die unteren Schichten des gesäuerten Wassers, welche den Zinkvitriol enthalten, um dessen Entfernung es sich ebenfalls handelt, zu Folge des Druckes, dem sie ausgesetzt sind, langsam durch das Segeltuch und das Loch in der Mitte des Bodens abfiltriren.

Die Smee'sche constante Kette enthält nur eine Flüssigkeit, nämlich verdünnte Schwefelsäure, und neben Zink als zweiten Elektromotor dünnes Silberblech, welches an der ganzen Oberfläche mit Platinmohr (sehr fein zertheiltem Platin) gleichförmig überzogen ist *). Beide Metalle tauchen, ohne durch eine poröse Scheidewand getrennt zu sein, in die verdünnte Säure, die sich in einem Gefäße aus Glas oder Porzellan befindet. . . . (†) Um bei Leitung des Stromes durch die Flüssigkeit beide Flächen der platinirten Silberplatte wirksam zu machen, ist letztere zwischen zwei, mit ihr und untereinander gleich großen Zinkplatten befe-

*) Dieser Ueberzug wird durch Zersetzung von Platinchlorid mittelst des Stromes einer elektrischen Kette erhalten, wenn man die betreffende Silberplatte in einer stark gesäuerten Lösung dieses Salzes zur negativen Elektrode des Stromes macht (in die Lösung taucht und mit dem negativen Pol der Kette leitend verbindet). Der hierbei auf der Platte entstehende schwarze, lockere Ueberzug haftet nicht fest, so daß die Platte nicht abgewischt, sondern nur abgespült werden darf, wird nur dann gleichmäßig, wenn die zweite Elektrode durch eine gleich große, der ersteren parallel und in derselben Höhe gegenüberstehende Platinplatte gebildet wird, und entsteht immer vorzugsweise auf der dieser zweiten Elektrode zugewendeten Fläche, weßwegen man die zu präparirende Platte, um auf beiden Flächen einen gleich starken Ueberzug zu erzielen, zu gehöriger Zeit umkehren muß.

Fig. 424.

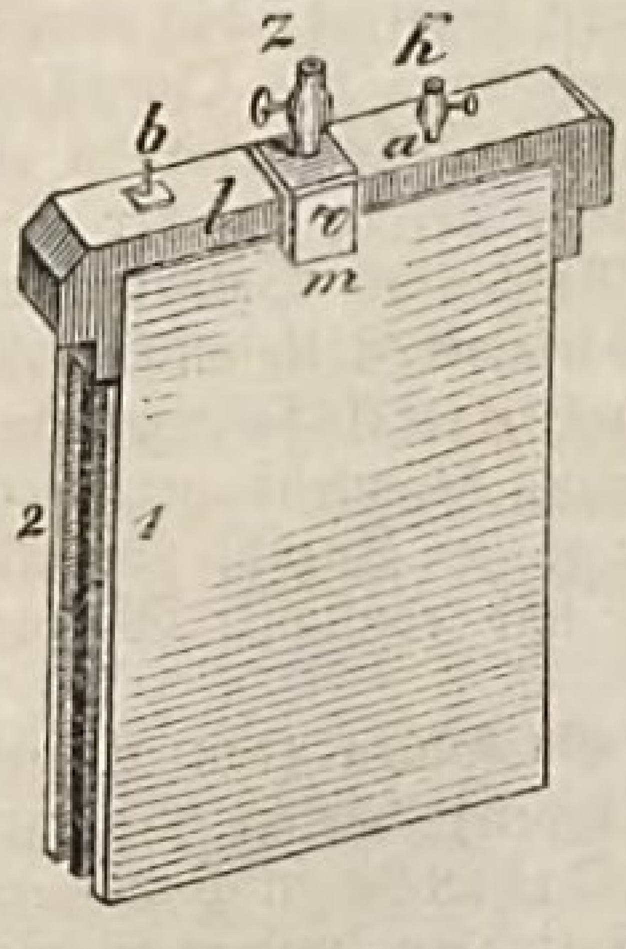
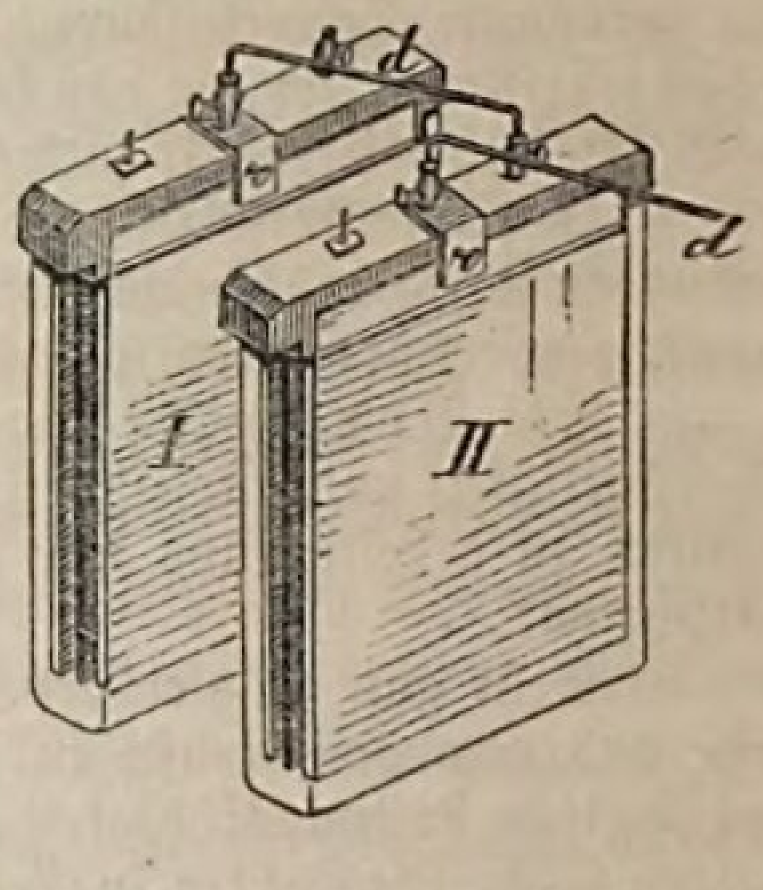


Fig. 425.



stigt und zwar am besten so, wie es die Fig. 424 zeigt, wo l eine Holzleiste bedeutet, in deren Mitte die Silberplatte s mittelst zweier von ihr ausgehender und am Ende mit Schraubengewinden versehener Kupferstiften a, b festgeschraubt ist, während die zwei Zinkplatten 1, 2 an den Seiten dieser Leiste ins Holz eingelassen, darin durch die gabelförmige Messingklammer m festgehalten und zugleich unter einander leitend (gleichsam zu einer einzigen doppelt so großen Platte) verbunden sind. Die Schraubenklemmen k, z, wovon k zugleich die Schraubenmutter für den Stift a und z einen Theil der Klammer m bildet, dienen zum Schließen der Kette. Bei Zusammenstellung der einfachen Ketten zu einer Batterie hat man dann natürlich nur immer die Klemme k jeder einfachen Kette mit der Klemme z der nächstfolgenden durch einen Kupferdraht d zu verbinden, wie Fig. 425 anschaulich macht.

Bei der Smee'schen Kette ist es der lockere Ueberzug von Platinmohr, welcher die unter (†) S. 463 angegebene Bedingung der Strombeständigkeit erfüllt (das Anhängen des Wasserstoffes an dem elektronegativen Gliede nämlich verhindert; und zwar dadurch, daß der gleichsam mit unzähligen Spitzen versehene Platinmohrüberzug die Wasserstoffbläschen, wie alle Spitzen und Kanten die Gase überhaupt, sich leicht entwickeln und nicht daran haften lassen); für die Beseitigung der aus der Zersetzung des sich bildenden Zinkvitriols resultirenden Ursache des Abnehmens der Stromstärke ist nur dann gesorgt, wenn die oben unter (†) erwähnten Gefäße aus Glas oder Porzellan viel weiter und tiefer (mindestens noch einmal so weit und tief), als die Elemente der Batterie dick und hoch sind, und jedes Element im obern Theile seines Gefäßes schwebend gemacht ist. Es wird dann der sich bildende schwere Zinkvitriol in der Flüssigkeitsmasse unterhalb des Elementes sich ansammeln und bei der unter den obwaltenden Umständen großen Menge dieser Masse erst nach längerer Zeit bis zum Elemente hinauf sich anhäufen. So lange dies aber nicht geschehen ist, kann keine Zersetzung des Zinkvitriols und Abscheidung von Zink auf dem negativen Gliede der Kette, also in dieser Beziehung keine Störung der Strom-Constanz stattfinden.

230. Anwendungen der zersetzenden Kraft des Volta'schen Stromes. Zur Hervorbringung elektrochemischer Zersetzungen eignet sich am besten der Strom einer constanten Kette, und es sind, je nach der Beschaffenheit des zu zerlegenden Stoffes und der Natur der Kette, aus mehr oder weniger Elementen bestehende Ketten erforderlich. Wir wissen von S. 464 her, daß aus einer Kupfervitriollösung durch den Volta'schen Strom das Kupfer metallisch ausgeschieden wird und sich auf der negativen Elektrode ablagert. Eine solche Ausscheidung und Ablagerung des regulinischen Metalls findet auch bei Lösungen von Zinn-, Blei-, Zink-, Silber-, Gold-, Platin- und andern Metallsalzen Statt und wenn die Ausscheidung langsam und ohne gleichzeitiger Ablagerung von Wasserstoff vor sich geht, so bildet sich auf der negativen Elektrode aus dem abgeschiedenen Metalle ein gleichförmiger, zusammenhängender Ueberzug, der unter gewissen Umständen fest und dauernd an der Elektrode haftet, unter andern Umständen aber sich als compacte Masse von derselben ablösen läßt. Hierauf gründen sich die im Nachfolgenden beschriebenen, eben so wissenschaftlich interessanten als technisch wichtigen Methoden,

auf galvanischem Wege Gegenstände in Metall abzuformen, zu verzinnen, zu verkupfern, zu versilbern, zu vergolden, zu verplatiniren, zu bronziren, mit Farben zu überziehen, Stahl und andere Metalle zu ätzen u. s. w.

231. Die Galvanoplastik, d. i. die wahrscheinlich von Jacobi in Petersburg und Spencer in Liverpool gleichzeitig entdeckte Kunst, durch den galvanischen Strom Gegenstände in Kupfer abzuformen. Die einfachste Art des Verfahrens dabei besteht darin, daß man den abzuformenden Gegenstand gleichsam zum negativen Glied einer einfachen Daniell'schen Kette macht (oder mit demselben in der Kupfervitriollösung leitend vereinigt). Dieser Gegenstand muß an der Oberfläche, wenn er es nicht schon ist, so weit leitend gemacht werden, als die Kupferablagerung gehen soll und falls seine ganze Oberfläche die Elektrizität leitet, an jenen Stellen (durch Ueberziehen derselben, am besten mit Wachs) nicht leitend gemacht werden, die von Kupfer frei zu bleiben haben. Das besagte Leitendmachen z. B. von Gypsabgüssen, Wachs- oder Stearin-Abdrücken u. s. w. geschieht am besten dadurch, daß man auf die betreffenden Stellen mittelst eines Fischpinsels feines Pulver von geschlemmtem Graphit oder ganz feines Metallpulver in möglichst dünner (hauchartiger) und gleichförmiger Schichte aufträgt (Gyps muß vor dem Auftragen von Graphit mit Stearin oder (weniger gut) mit Wachs eingelassen werden, damit er keine Flüssigkeit einsaugen kann), und um gewissen Stellen das Leitvermögen zu nehmen, überzieht man sie mit Stearin oder Wachs. Besteht das abzuformende Object aus Metall, so muß man dasselbe, bevor es in die Kupfervitriollösung gebracht wird, mit Olivenöl einreiben und dann wieder mit weichem Fließpapier abwischen (so, daß die Oberfläche fett bleibt, ohne durch die Fettschichte ihre Form und Schärfe nur im Geringsten zu ändern), weil sich sonst die Kupfercopie nicht ablösen läßt.

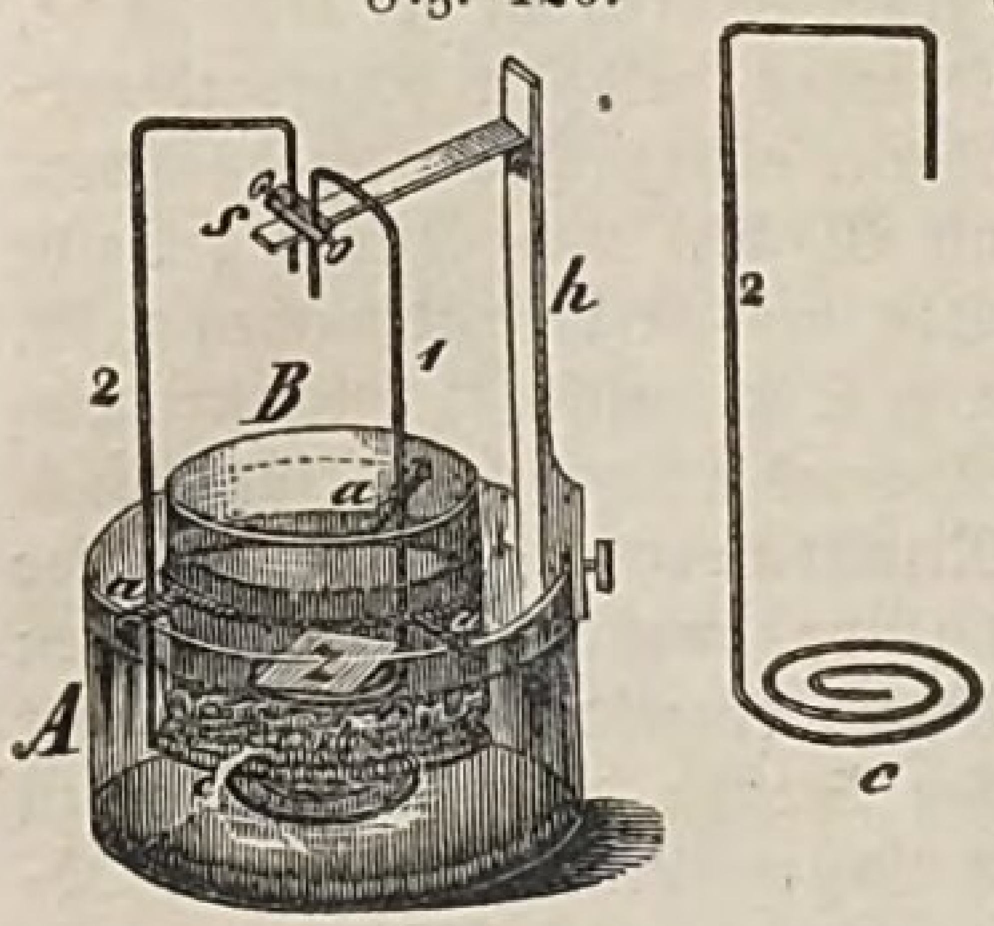
Uebrigens darf das Metall keines sein, welches wie z. B. Zinn, Zink oder Eisen schon ohne elektrischen Strom das Kupfer schnell und pulverig fällt oder von der Kupfervitriollösung angegriffen wird. Ein solches müßte vorher (etwa galvanisch, wovon später) versilbert werden.

Nach Spencer soll man die dem galvanoplastischen Proceß zu unterwerfenden Objekte, um sie leitend zu machen, mit einer Auflösung von salpetersaurem Silber überstreichen und sie dann unter einer Glasglocke über einer Schale aufhängen, welche eine Auflösung von Phosphor in Aether oder Terpentinöl enthält und in warmen Sand steht. Die Dämpfe reduciren das Silbersalz und es entsteht auf dem betreffenden Objekte ein sehr feiner Ueberzug von metallischem Silber. — Da das oben besagte Einölen rücksichtlich der Genauigkeit und Treue der Nachbildung keine Sicherheit gewährt, indem sich der Fettanstrich nicht über alle Höhen und Tiefen gleichmäßig vertheilen läßt, so wendet v. Kobell das Mittel der Versilberung an und legt zu diesem Ende den Original-Metallkörper etwa 10 Minuten lang in eine Auflösung von Chlorsilber und Kochsalz, wodurch der Körper einen Anflug von Silber erhält, der nur wie ein bloßer Hauch erscheint und ein leichtes Ablösen der Kupferablagerung gestattet. — Zu Abdrücken von in Kupfer nachzuformenden Gegenständen empfiehlt Böttger, anstatt des oben erwähnten Gypses, Wachses oder Stearins, ein Gemische aus 8 Theilen Wismuth, 8 Theilen Blei und 3 Theilen Zinn. Er gießt das geschmolzene Gemische (Schmelzpunkt 86° R.) in eine, einen Schachteldeckel gleichende Pappform, rührt es mit einem Eisendraht um, bis es teigig wird, und drückt dann den abzuformenden Gegenstand so lange darauf, bis das Metall erkaltet ist. Vorzüglich geeignet zu Abdrücken und daher auch zu diesem Zweck am häufigsten in Anwendung ist Gutta Percha. Man formt aus derselben, nachdem sie in kochendem Wasser erweicht worden, durch Auswalzen Platten entsprechender Dicke, taucht diese dann wieder kurze Zeit in kochendes Wasser, legt sie noch warm auf den betreffenden Gegenstand und drückt sie an dessen Oberfläche mittelst der Fingerspitzen oder eines elastischen Bällchens sorgfältig an, oder bedient sich auch, z. B. beim Abformen von Holzschnitten oder andern harten Gegenständen, einer Schraubenpresse. Zum Abformen von Gyps- und zarteren, keine Pressung vertragenden Metallgegenständen wird, wie dies z. B. in der galvanoplastischen Anstalt der hiesigen k. k. Staatsdruckerei geschieht, eine Composition aus Gutta Percha (den bei weitem größten Bestandtheil ausmachend), Stearin, schwarzem Pech (Schusterpech) und etwas Oel, die man noch warm in breiartiger Consistenz aufträgt, und dann erstarren läßt, mit großem Vortheil angewendet;

der Gyps muß vorher mit Seifenwasser überstrichen werden, und das Abformen metallener Objekte gelingt am vollkommensten, wenn diese aus Kupfer bestehen; von manchen Metallen, z. B. Zink, läßt sich die Form nicht gut ablösen. Leitend macht man Matrizen, die aus Gutta Percha oder der erwähnten Composition bestehen, ebenfalls durch Auftragen von Graphit oder feiner Metallpulver mittelst des Pinsels, oder auch durch einen feinen Ueberzug von Silber, der durch Fällung aus einer Lösung salpetersauren Silbers mittelst Schwefelwasserstoff erhalten wird; letzteres Verfahren ist, besonders für jene tiefern Stellen der Matrize zu empfehlen, in welche man mit dem Pinsel nicht gut hinein kann . . . (†).

Zur galvanischen Abformung oder Vervielfältigung von Denkmünzen, Siegeln oder anderer kleiner Gegenstände ist der in Fig. 426 abgebildete Apparat sehr bequem.

Fig. 426.



A ist ein Glasgefäß; **B** ein beiderseits offener Glascylinder (etwa die obere, abgesprengte Hälfte eines Zuckerglases), dessen untere Oeffnung mit einer Rinds= oder Schweinsblase flüssigkeitsdicht verbunden ist, und welcher mittelst dreier Arme **a** eines ihn umfangenden Drahtes auf dem Gefäße **A** (in dasselbe hineinhängend) ruht. Von den zwei in der doppelten, an dem hölzernen Träger **h** befestigten, messingenen Klemmschraube **s** festgeschraubten dickeren Kupferdrähten **1**, **2** endigt jeder unten in ein horizontales Spiralgewinde c, (wie man dies in der abgesonderten Darstellung deutlich sieht), wovon das des Drahtes **1** im Gefäße **B** nahe über der Thierblase hängt und eine kleine Platte **z** amalgamirten Zinkes aufliegen hat, während jenes des Drahtes **2** im Gefäße **A** nahe unter der Thierblase und ihr parallel schwebt und die mit Kupfer zu überziehende Medaille u. dgl. trägt. **B** enthält sehr stark verdünnte Schwefelsäure (am besten, in Bezug auf die Qualität des sich fällenden Kupfers ist es, blos Brunnenwasser anzuwenden); **A** ist bis über die Thierblase hinauf mit gesättigter Kupfervitriollösung gefüllt; die Spirale des Drahtes **2** (und dieser selbst, so weit er in die Vitriollösung taucht) ist, um die Ablagerung von Kupfer daran zu verhindern, gleichförmig mit Siegellack, Wachs oder Stearin überzogen, mit Ausnahme einer oder weniger Stellen an der Spirale, durch welche die Medaille oder dgl. mit letzterer (der Spirale) in leitender Verbindung steht. Zum Gelingen (des ein und auch mehrere Tage dauernden Versuches) ist noch erforderlich, daß der Strom durch hinreichend starke Verdünnung der Schwefelsäure und entsprechende Entfernung der zwei Drahtspiralen von der Thierblase und somit von einander (was durch Verstellen der Drähte in der Schraubenklemme **s** leicht geschehen kann) ganz schwach, und die Vitriollösung durch genügenden Zusatz von Kupfervitriolstücken stets gesättigt erhalten und aus derselben die durch die Zersetzung des Kupfervitriols frei werdende Schwefelsäure entfernt werde, und daß die Stellen, wo die Medaille oder dgl. mit der Spirale in leitender Berührung steht und wo die Ablagerung immer am stärksten ist, öfters gewechselt werden. Ein zu starker Strom erzeugt einen körnigen, nicht fest zusammenhängenden, brüchigen Kupferniederschlag. Endlich hat man von Zeit zu Zeit die Kupfervitriollösung, um sie in allen Schichten g l e i c h concentrirt zu erhalten, mittelst eines Glas= oder Holzstabes umzurühren und die Zinkplatte vom gebildeten Oxyde zu reinigen oder ganz zu erneuern, wenn sie stark zerfressen sein sollte.

Das Gesättigterhalten der Kupfervitriollösung und das ebenfalls für nothwendig gehaltene Wegschaffen der bei Abscheidung des Kupfers in dieser Lösung frei werdenden Schwefelsäure gelingt (nach P h i l i p p s) am besten durch Einbringen von kohlensaurem Kupferoxyd in dieselbe, welches durch Fällung von Kupfervitriollösung mittelst kohlensaurem Natron (Soda) leicht erhalten wird und immer im Ueberschusse in der Flüssigkeit liegen oder in leinenen Beuteln darin hängen soll. (Daß so obige zwei Zwecke erreicht werden, indem das Kupferoxyd mit der reifwerdenden Schwefelsäure sich immer gleich wieder zu Kupfervitriol verbindet, bedarf keiner

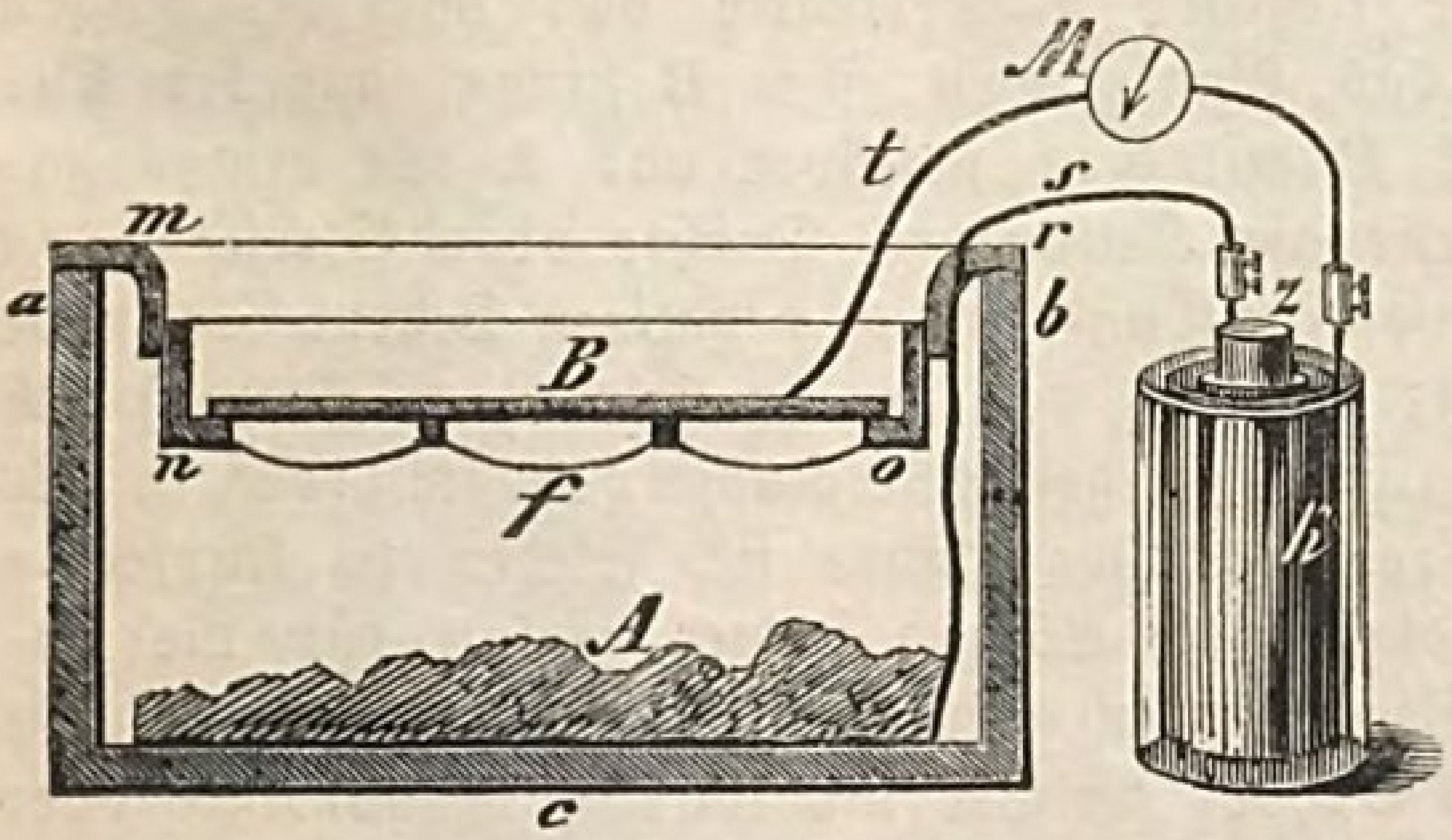
Erwähnung). Das Wegschaffen der freien Schwefelsäure geschieht sonst gewöhnlich auch durch Versetzen der bereits weniger brauchbar gewordenen Kupfervitriollösung mit ungelöschtem Kalk, und nachheriges Filtriren der Flüssigkeit.

Die Kupferfällung soll übrigens (nach v. Kobell) nie bei Temperaturen unter 6⁰ bis 8⁰ R. vorgenommen werden; die günstigste Temperatur ist 14⁰ R.

In vielen, eben so großartige als sonst vorzügliche Erzeugnisse liefernden galvanoplastischen Etablissements, wie z. B. in der schon früher erwähnten hiesigen k. k. Staatsdruckerei, wird das besagte Gesättigterhalten der Kupfervitriollösung und Wegschaffen der freien Schwefelsäure aus derselben stets sorgfältig beobachtet; in andern Anstalten, wo übrigens, wie wir nachher hören werden, eine abgesonderte galvanische Kette den zersetzenden Strom liefert, wird mit nicht concentrirter und freie Schwefelsäure enthaltender Kupfervitriollösung gearbeitet. In der großartigen galvanoplastischen Anstalt des Herzogs von Leuchtenberg in St. Petersburg z. B. wendet man mit bestem Erfolge eine Kupfervitriollösung an, die, wie folgt, bereitet ist: eine bei gewöhnlicher Temperatur concentrirte Kupfervitriollösung von 24⁰ Baumé wird mit Wasser bis 20⁰ B. verdünnt und dazu so viel Schwefelsäure von 66⁰ B. gegossen, daß die Flüssigkeit 22⁰ B. zeigt. In Schuh's galvanoplastischem Institute in Wien, welches in jeder Hinsicht ausgezeichnete und in gewisser Beziehung einzig dastehende Produkte liefert, wird ausschließlich mit einer Kupfervitriollösung gearbeitet, die durch Mischung von 9 Volumtheilen einer concentrirten Kupfervitriollösung, 8 Theilen Wasser und 1 Theil Schwefelsäure bereitet wird, und mit welcher Schuh bisher die besten Resultate sowohl in Bezug auf Reichhaltigkeit als auf Güte des Niederschlages erhalten hat.

Zu glavanoplastischer Behandlung größerer Gegenstände bedient man sich ebenfalls eines der in Fig. 426 abgebildeten Vorrichtung ganz analog eingerichteten, nur entsprechend größeren Apparates. Bei diesem (man sehe die Fig. 427) wird das

Fig. 427.



Glasgefäß **A** (Fig. 426) gewöhnlich durch einen hölzernen Trog **acb** ersetzt, der inwendig mit flüssigkeitsdicht vereinigten (mittelst Gutta Percha- oder Kautschuklösung zusammengeklebten) Blättern aus Gutta Percha oder mit Bleiplatten ausgefüttert ist, die dann mit Asphaltfirniß überstrichen werden, und unmittelbar auf dem Boden dieses Troges oder auf einen in den Trog gestellten hölzernen Träger von passender Gestalt liegt der mit Kupfer zu überziehende Gegenstand **A**. Als poröse Scheidewand oder Diaphragma dient eine pergamentartig gegerbte Kalbshaut **nfo**, die über einen tiefen, hölzernen Rahmen **mnor** gespannt und durch einige äußerlich darüber hingezogene, sich kreuzende Spagatschnüre gehindert ist, sich in der Mitte zu senken. In der Tiefe des Rahmens auf einigen quer gehenden Holzleisten liegt in der verdünnten Schwefelsäure die amalgamirte Zinkplatte **B**, und zwei von **A** und **B** ausgehende Streifen aus dünnem Kupferblech, deren Enden außer dem Troge durch eine Klemme oder sonst auf passende Art mit einander in innige metallische Berührung gebracht sind, stellen zwischen **A** und **B** die erforderliche Leitung her. Anstatt des Diaphragma's von Gestalt eines horizontalen Rahmens wird häufig auch ein schmaler, tiefer und langer, oben offener und unten geschlossener Trog angewendet, bei dem die einander parallel gegenüberstehenden hohen und langen Seitenwände aus Kalbshaut der oben erwähnten Beschaffenheit, die übrigen Theile aus gut gefirnißtem Holze be-

stehen, und welcher, die verdünnte Schwefelsäure und die amalgamirte Zinkplatte enthaltend, in dem die Kupfervitriollösung enthaltenden Troge abc aufrecht steht (so nämlich, daß die Zinkplatte darin eine vertikale Stellung hat). Der in Kupfer abzuformende Gegenstand wird vor einer der Seitenwände aus Kalbshaut in der Kupfervitriollösung des Troges abc, an über diesen Trog hingelegten Stangen (nach Art von a, b in der folgenden Figur 431) aufgehangen und man hat, indem so gleichzeitig beiden porösen Seitenwänden gegenüber abzuformende Objekte angebracht werden können, den Vortheil, daß beide Flächen der Zinkplatte mit einem Male benützt werden. Mit den eben beschriebenen Trögen und Diaphragmen wird z. B. durchgehends, selbst bei Erzeugung der größten galvanoplastischen Gegenstände, in der hiesigen k. k. Staatsdruckerei gearbeitet, natürlich immer unter Anwendung so vieler nebeneinander angeordneter Diaphragmen, als es die Ausdehnung des in Arbeit genommenen Objektes nöthig macht, wobei zugleich stets die unter den besprochenen Umständen überhaupt ziemlich allgemein angenommene Regel beobachtet wird, daß die Projection der mit Kupfer zu überziehenden Fläche auf eine der Zinkplatte parallele Ebene eine der Ausdehnung dieser Platte ziemlich gleiche Größe hat...(†).

In andern galvanoplastischen Instituten, z. B. in dem oben erwähnten des Herrn Schuh, wird es vorgezogen, sich den zum Proceß nöthigen Strom durch eine einfache oder (für große Arbeiten) durch eine je nach der Größe oder Anzahl der auf einmal in Arbeit zu nehmenden Objekte aus mehr weniger Elementen zusammengesetzte constante Kette zu verschaffen und die Kupferfällung in einer von der Stromquelle abgesonderten Zersetzungszelle zu bewerkstelligen. Diese Zelle ist dann am gewöhnlichsten wieder ein mit Gutta Percha oder Blei ausgefütterter Holztrog wie abc in Fig. 427, welche Figur übrigens auch die übrige Anordnung des ganzen galvanoplastischen Apparates versinnlicht, wenn man sich unter **A** wieder den mit Kupfer zu überziehenden Gegenstand, unter **mnor** einen hölzernen überfirnißten Rahmen, denselben unten aber blos mit Leinwand oder Flanell (**nfo**) überspannt vorstellt, ferner **B** eine im Rahmen **mnor** liegende Kupferplatte von nach der obigen Regel (†) ermessener Größe und das Ganze weit über **B** hinauf mit der Kupfervitriollösung angefüllt, endlich **B** mit dem positiven und **A** mit dem negativen Pol der als Stromquelle dienenden Kette durch Drähte oder Streifen **s**, **t** von Kupfer vereinigt, also **B** zur positiven und **A** zur negativen Strom-Elektrode gemacht denkt. Da die Kupferplatte **B** durch den an ihr (als + Elektrode) sich abscheidenden Sauerstoff oxydirt und das so gebildete Kupferoxyd mit der in der Kupfervitriollösung vorhandenen freien Schwefelsäure sich wieder zu Kupfervitriol verbindet, bekömmt durch diesen die Lösung immer Ersatz für die zersetzte Kupfervitriolmenge und behält stets den nämlichen Sättigungsgrad. Um zu verhindern, daß von dem besagten Oxyde, welches als lockeres braunrothes oder schwärzliches Pulver die Platte **B** überzieht, auf den Gegenstand **A** herabfalle — wodurch das auf demselben sich niederschlagende Kupfer körnig, nicht fest zusammenhängend und spröde würde und was sich durch Verschwinden der hellrothen Fleischfarbe kund gibt, welche diesem Kupfer bei gehörigem Gange des Prozesses immer eigen, daher ein sicheres Kennzeichen eines solchen Ganges ist —, dazu ist der Leinwand- oder Flanellüberzug **nfo** des Rahmens **mnor** vorhanden.

Der ganze Rahmen fällt hinweg, wenn man das mit Kupfer zu überziehende Modell **A** und die Kupferplatte **B** in den Trog abc aufrecht einander gegenüberstellt oder an über den Trog hin gelegten Stäben aufhängt. Bestehen die Stäbe aus Metall und geschieht das Aufhängen von **A** und **B** daran mittelst Kupferdrähten, so hat man nur den Stab selbst, woran **A** hängt, mit dem — Pol und den die Platte **B** tragenden Stab mit dem + Pol der Stromquelle leitend zu verbinden, um, wie es nothwendig ist, **A** zur negativen und **B** zur positiven Elektrode zu machen. Bei horizontaler Lage des Modells findet eine gleich-

förmigere Vertheilung des gefällten Kupfers auf diesem Statt. M (Figur 427) stellt eine in den Stromkreis eingeschaltete Bussole vor, deren Anwendung man früher für fast unerläßlich hielt, um aus der Ablenkung ihrer Magnetnadel zu ersehen, ob die Stromstärke, von welcher die Menge und Qualität (Festigkeit und Zähigkeit) des in einer bestimmten Zeit auf der — Elektrode abzuscheidenden Kupfers abhängt, die dieser Menge und Qualität entsprechende und überdies stets eine constante Größe habe . . . (†). Es läßt sich aber die besagte Kupfermenge, da sie nicht blos von der Stromstärke, sondern auch von dem Concentrationsgrade der Kupfervitriollösung und noch ein paar andern Umständen abhängt, weit sicherer als aus dem Stande der Magnetnadel, nach der Schnelligkeit beurtheilen, mit welcher die Dicke des Kupferüberzuges auf dem Modelle anwächst, und ein sehr verläßliches, leicht sich darbietendes Kennzeichen eines regelmäßigen Ganges des Prozesses und einer guten Beschaffenheit des gefällten Kupfers ist eine hellrothe Fleischfarbe und eine glatte, nicht körnige Oberfläche dieses letzteren.

Die für Galvanoplastik geeigneten Batterien sind (unter den jedenfalls anzuwendenden constanten, in **229** besprochenen) nur die Daniell'sche und die Smee'sche Batterie (da die Grove'sche und die Bunsen'sche wegen der irrespirablen Dämpfe, die sie in so großer Menge entwickeln, nicht wohl gebraucht werden können).

Am praktischsten und den galvanoplastischen Bedürfnissen am meisten entsprechend ist aber unstreitig die Smee'sche Batterie, wenn die Elemente die im Nachfolgenden beschriebene Einrichtung haben, welche ihnen Schuh gegeben, und welche gestattet, sie stets leicht in den gehörigen Stand zu setzen und darin zu erhalten, so wie ihre Leistung zu überwachen und zu regeln. Ich lasse hier die Beschreibung dieser Einrichtung, wozu mir Herr Schuh selbst auf das Gefälligste die nöthigen Daten lieferte, um so mehr folgen, als durch sie die Smee'sche Batterie auch zu anderen als galvanoplastischen Zwecken erst recht brauchbar geworden ist. Das verbesserte Element besteht, so wie das ursprüngliche Smee'sche (S. 467) aus zwei sorgfältig amalgamirten Zinkplatten, zwischen welchen eine mit Platinmohr überzogene Platte aus dünnem Silberblech sich befindet. Diese 3 Platten sind aber in der durch Fig. 428 (welche das Element in perspectivischer Ansicht darstellt) anschaulich gemachten Weise verbunden. a, b, c sind 4eckige Messingstäbe, deren jeder etwa 4 □ Linien im Querschnitte hat, ungefähr doppelt so lang als die Silberblechplatte breit ist und zwei Durchbohrungen 1, 2 (eine in der Mitte und die andere an dem einen Ende) besitzt, in welche ganz gleiche Schraubengewinde eingeschnitten sind. Jeder der zwei äußeren Stäbe a, c trägt eine der Zinkplatten z, und zwar mittelst eines etwa 3″ langen und 1‴ dicken Kupferdrahtstückes, welches seiner ganzen Länge nach mit einem Schraubengewinde, das in jenes der mittleren Bohrung des Messingstabes paßt, versehen und mit seinem untern Ende etwa 1‴ tief in der Mitte der Schnittfläche an der kürzeren Seite der Zinkplatte eingeschraubt ist. Bei dieser Einrichtung kann das Zink in einen größeren oder kleineren Abstand von dem zugehörigen Messingstabe gebracht werden und steht, da es als Last an diesem Stabe hängt, mit demselben immer in inniger leitender Verbindung. An dem mittleren Messingstabe b ist die Silberplatte d aufgehängt und zwar, um für möglichst innige Leitung zwischen ihr und dem Stabe zu sorgen, nicht mittelst eines an ihr festgenieteten oder gelötheten Drahtes o. dgl., sondern mittelst eines Streifens e Fig. 429, der einen Theil der Silberplatte selbst bildet und am ökonomischsten dadurch erhalten wird, daß man die Platte am oberen Theile, etwa 3‴ weit vom Rande und diesem parallel, bis zur Hälfte einschneidet und den abgetrennten Streifen so aufwärts biegt, daß er in der Längenrichtung der Platte über sie hinausragt. Dieser Streifen hat am äußersten Ende ein rundes Loch, ist mit diesem Ende über den Messing-

Fig. 428.

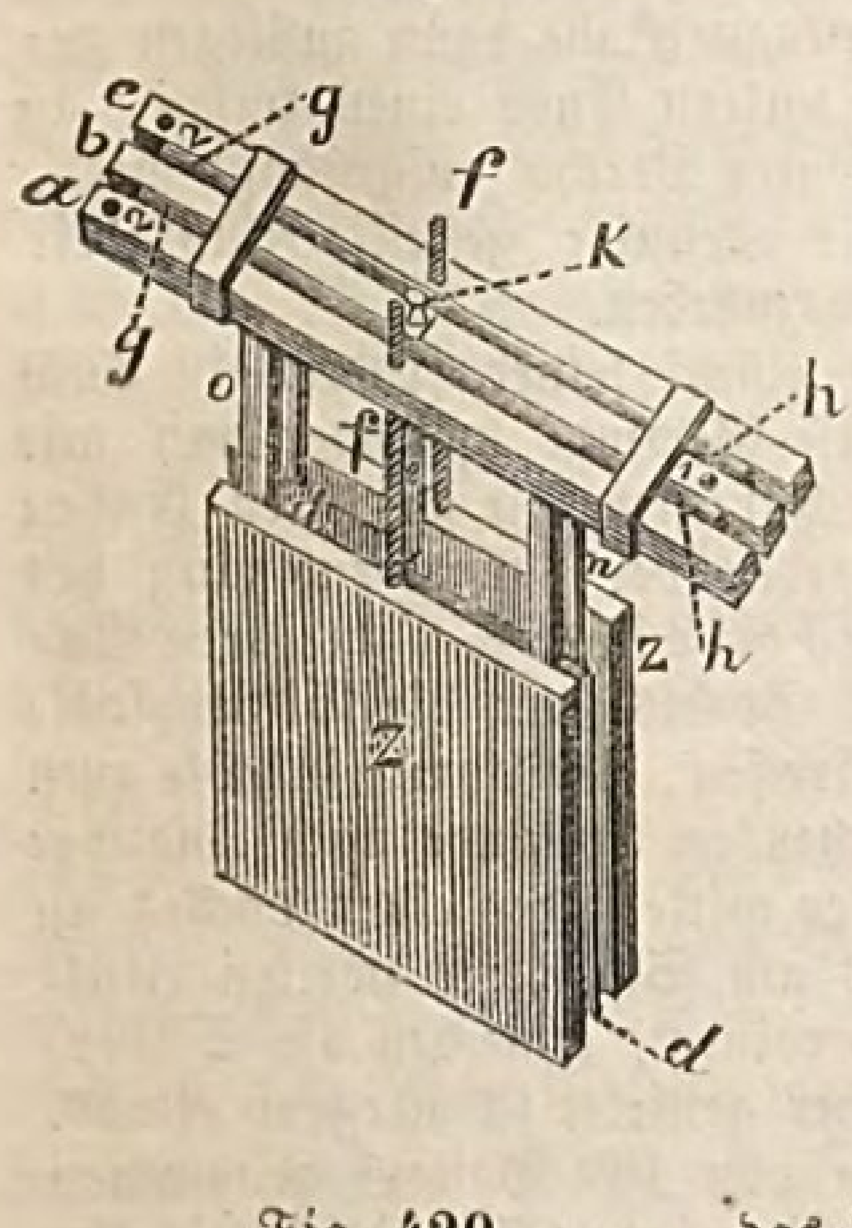


Fig. 429.

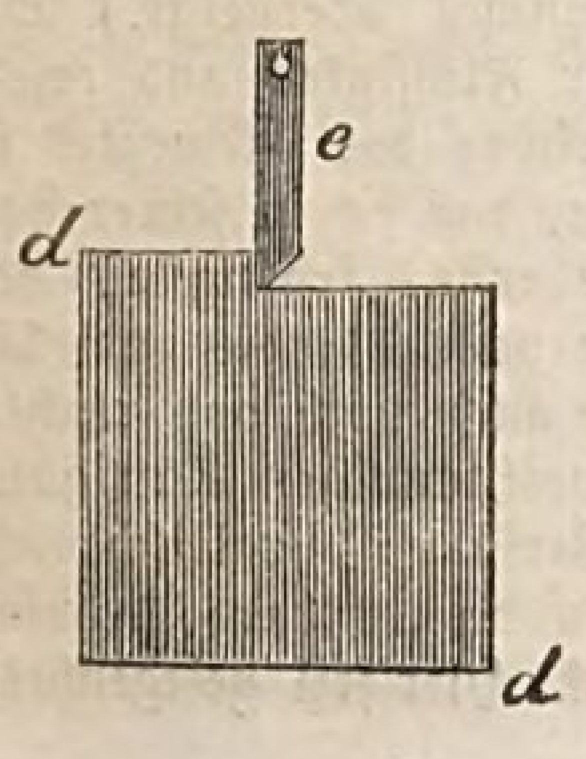
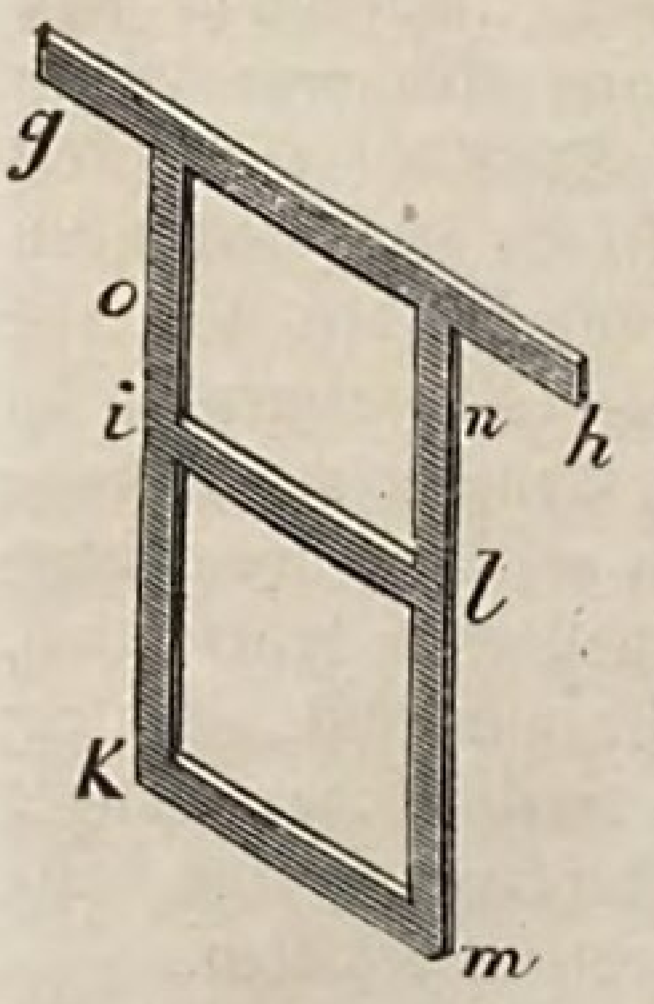


Fig. 430.



stab b hingebogen und mit demselben durch eine durch das besagte Loch gehende und in das Gewinde der Bohrung in der Mitte des Stabes eingreifende Schraube k innig metallisch vereinigt. Um die 3 Messingstäbe von einander isolirt zu halten, und die Berührung der Silberplatte mit den Zinkplatten unmöglich zu machen, ist jede Zinkplatte und der Stab, woran sie hängt, von der Silberplatte und dem sie tragenden Stabe durch einen rechteckigen Rahmen geschieden, der aus einer 2''' dicken Platte von Gutta Percha geschnitten, oder aus diesem Stoffe in einer Form gepreßt ist, die in Fig. 430 anschaulich gemachte Gestalt hat und in Fig. 428 mit o bezeichnet ist; die Leiste gh dieses eine durchbrochene Zwischenwand bildenden Rahmens befindet sich zwischen den Messingstäben, mit welchen sie nahe gleiche Länge hat, und der Theil iklm zwischen den Metallplatten, die von einander isolirt zu halten sind, und ist etwas kleiner als sie selbst.

Um das Element zusammenzusetzen, legt man eine Zinkplatte sammt dem Stabe, woran sie hängt, auf einen Tisch, darauf eine Zwischenwand aus Gutta Percha, auf diese die Silberplatte mit ihrem Messingstabe, nun wieder eine solche Zwischenwand und endlich die zweite Zinkplatte mit dem Stabe. Um die Platten und Zwischenwände in der ihnen so gegebenen respectiven Lage zu erhalten, schiebt man dann 2 länglich viereckige federnde Reife (n, n Fig. 428) aus Gutta Percha über die Stäbe (von jeder Seite her einen), wodurch das Ganze so zusammengehalten wird, daß die Platten und Zwischenwände nach keiner Richtung aus ihrer Lage kommen können.

An der Schraube k, welche die Silberplatte mit ihrem Messingstabe verbindet, ist ein Ring aus Gutta Percha befestigt, mittelst welchem das ganze Element sich aufhängen läßt. Ein Holzgestell, welches aus einem horizontalen Brete mit zwei vertikalen, oben durch einen Querstab verbundenen Säulen besteht, wird ferner verwendet, um ein Glas mit der Säuremischung und das Element selbst aufzunehmen. Der Querstab des Gestelles enthält in der Mitte und nach seiner Längenrichtung einen vertikalen Schlitz, durch welchen ein Blechstreifen hinabgeht, der seiner ganzen Länge nach mit etwa um 1'' von einander abstehenden Löchern versehen ist. Dieser Streifen läßt sich in dem Schlitze auf- und abschieben und darin mittelst eines horizontal durch eines seiner Löcher gesteckten und auf dem Gestellsquerstabe dann aufliegen gemachten Stiftes in fast beliebiger Stellung fixiren und hat am untern Ende einen Haken, an welchem das Element mittelst des vorerwähnten Ringes aus Gutta Percha aufgehängt wird. Diese Vorrichtung gestattet, das Element willkürlich tief in die darunter gestellte Flüssigkeit eintauchen zu lassen, oder es auch ganz aus der Flüssigkeit herauszuheben.

Jeder der drei Messingstäbe a, b, c hat bekanntlich an einem seiner Enden ein Loch (Fig. 428) mit einem Schraubengewinde darin. Mittelst in diese Gewinde passender und mit rändierirten Köpfen versehener Schrauben werden nun Kupferblechstreifen, die an ihren Enden durchlocht sind, mit den Stäben innig vereinigt, und zwar werden bei Zusammensetzung des Elementes die Stäbe, woran die Zinkplatten hängen, so gelegt, daß die Löcher 2, 2 an ihren Enden nach einer Seite gekehrt sind und das Loch 1 am Ende des Stabes, der die Silberplatte trägt, auf die andere Seite zu liegen kömmt. Der Kupferblechstreifen, der vom Zinkpole zum Zersetzungstroge gehen soll, wird am Ende mit zwei, im entsprechenden Abstande nach einander folgenden Löchern versehen und daselbst so gebogen, daß, wenn er mittelst des einen Loches an dem Stabe der einen Zinkplatte und mittelst des anderen Loches am Stabe der zweiten Zinkplatte festgeschraubt ist, er beide Platten leitend untereinander verbindet, ohne den die Silberplatte tragenden Messingstab irgendwo zu berühren. Gelöthet oder genietet ist nirgend etwas. Zur Erregung des Elementes wird die verdünnte Schwefelsäure von 13° Baumé genommen und die Flüssigkeit so lange in Anwendung behalten, bis sie 25° B. zeigt. (Als Behältniß für sie dient am einfachsten ein ordinäres Einsud- oder Zuckerglas, dessen Durchmesser die Breite der Zinkplatten und dessen Tiefe die Höhe derselben mindestens einmal übersteigt.) Der Arbeiter untersucht täglich mit dem Aräometer die Beschaffenheit der Flüssigkeit und ersetzt sie durch neue, sobald sie den besagten 25. Grad erreicht hat. Die Wirkung des Elementes ist so natürlich keine constante, und man kann, praktisch genommen, sagen, daß es in seiner Leistung von der Erneuerung der Säure an 3 Perioden durchmacht. Die erste, kräftigste, den reichsten Niederschlag gebende ist diejenige, in welcher das Aräometer vom 13. bis zum 15. Grad sich erhebt; dann kömmt die zweite bis 25° gehende Periode, die auch noch von reichlichem Niederschlage begleitet ist; die dritte Periode endlich geht bis zur vollständigen Sättigung des in der Säuremischung enthaltenen Wassers mit Zinkvitriol. Diese Periode ist praktisch nicht verwendbar, weil der Niederschlag außerordentlich abnimmt, während die sichtbare Entwicklung von Wasserstoffgas an der Silberplatte noch sehr reichlich erscheint. Hier soll gelegenheit-

lich bemerkt werden, daß der in Fig. 428 ersichtliche größere Abstand zwischen den Platten und den Stäben, woran sie hängen, wesentlichen Vortheil bezüglich leichteren Entweichens des eben erwähnten Wasserstoffgases bietet.

Die beschriebene Einrichtung des Smee'schen Elementes ist das Ende einer langen Reihe von durch Schuh versuchten Modificationen in der Anordnung, in der Befestigung der Platten u. s. w. und dürfte wohl kaum einer weitern Vereinfachung mehr fähig und bedürftig sein. Das Smee'sche Element ist bei dieser Einrichtung und unter der angegebenen Zuhilfenahme des Aräometers gewiß dasjenige Element, welches den größten praktischen Werth hat.

Die Galvanoplastik ist, wie man nach dem Wenigen hier darüber Mitgetheilten nun schon von selbst einsieht, einer sehr ausgedehnten künstlerischen und technischen Anwendung fähig, indem keine der andern bisher bekannten Methoden, durch Abguß oder Abdruck Copien zu erhalten, eine solche Sicherheit, Schärfe und Genauigkeit gewährt, als eben die galvanoplastische. Man erhält durch sie die getreuesten Copien noch so fein gravirter oder geätzter Platten und erspart dabei alles, die andern Methoden kostspielig machende und die Wahrheit der Copie immer mehr oder weniger beeinträchtigende Nacharbeiten oder Ciseliren. (Um die an dem Originale vertieften Stellen auch vertieft und die erhabenen wieder erhaben zu erhalten, muß natürlich die zuerst erzeugte, in Bezug auf diese Stellen umgekehrt beschaffene Copie nachher statt des Originals in den Apparat gebracht werden, wo sie dann eine beliebige Anzahl mit dem Originale ganz identischer Copien, gleichsam Abgüsse in Kupfer, liefert.) Mittelst dieser Copien läßt sich dann in der Kupferdruck- oder überhaupt in einer geeigneten Presse eine unbegrenzte Anzahl ganz getreuer, ja identischer Abdrücke der Gravirung oder Aetzung erhalten, was mit der Originalplatte nicht möglich ist, da sie sich während des Druckes stark abnützt, demnach nur eine verhältnißmäßig geringe Anzahl von Abdrücken gestattet, indem die spätern schon weit weniger schön ausfallen. Ist die negative Elektrode im Zersetzungstroge eine an der Oberfläche wohlpolirte Kupferplatte, so stellt das darauf gefällte Kupfer nach der Ablösung eine auf der abgetrennten Fläche ebenfalls vollkommen glatte Platte dar, die selbst ohne weiteres Schleifen und Poliren sich sogleich zum Graviren oder Aetzen eignet; sie besteht aus reinem weichen Kupfer, das sich leicht stechen läßt, und enthält keine unganzen Stellen. Wurde die als Modell dienende polirte Kupferplatte vor ihrer Einsetzung in den Trog in gleichförmig erhitztem Zustande mit Jungfernwachs eingerieben und nachher ihre Oberfläche bis zur Rückkehr der Politur wieder rein gewischt, so springt, zu Folge dennoch in den Poren zurückgebliebenen Fettes die abgelagerte Kupferschichte, nachdem sie die gehörige Dicke erlangt hat, und vorher die übergreifenden Ränder abgefeilt worden sind, beinahe von selbst los, oder man kann, falls dies nicht geschehen sollte, dadurch leicht nachhelfen, daß man in eine der Spalten, die sich an den besagten Rändern stellenweise immer zeigen, einen Spatel aus Holz, Horn o. dgl. einsteckt und damit die Spalten nach beiden Seiten hin allmälig zu erweitern sucht. Es bedarf nicht erst der Erwähnung, daß eben so wie gravirte und geätzte Platten auch getriebene und alle plastischen Arbeiten (Büsten, Statuen u. s. w.) als Originale dienen können, wenn sie nicht so untergearbeitet oder so gestaltet sind, daß ihre Copien (in Kupfer) oder darüber hin angefertigte Abgüsse aus Gyps, Wachs oder Stearin, die dann am besten als Modell dienen, sich nicht abheben lassen.

Die Galvanoplastik findet noch ferner die nützlichste Anwendung: Zur Verfertigung kupferner Matrizen für einzelne Lettern oder ganze Stereotypplatten (durch Fällung des Kupfers unmittelbar auf die Lettern oder den Lettersatz), und man kann nachher in die Matrizen Letternmetall hineingießen oder den Satz selbst in galvanischem Kupfer anfertigen; — zu leichter Herstellung genau getheilter Maßstäbe und anderer mathematischer Instrumente in beliebiger Zahl, nämlich durch galvanoplastische Copirung und Vervielfältigung eines guten Musters; — zur Erzeugung von Metallspiegeln für Teleskope u. s. w., welche dann aber vergoldet (galvanisch, wovon später) werden müssen, weil Kupfer nur sehr wenig, Gold hingegen, nach Steinheil, sogar mehr Licht reflektirt als polirter Stahl (Steinheil's Verfahren siehe in

Dingler's polyt. Journal, B. 86 und 99, S. 134 und 398); — zum Copiren aller Arten von Holzschnitten anstatt der Methode des Clychirens. So z. B. braucht man die Stempel für Lettern oder die dem Buchdrucker, Buchbinder u. s. w. nöthigen Ornamente jetzt nur in Holz zu schneiden, um dann auf galvanischem Wege Matrizen und mittelst dieser die Typen und Ornamente selbst aus Kupfer zu erhalten. Gleich leicht lassen sich Formen zum Tapeten- und Kattundruck herstellen u. s. f. Man macht entweder von den Holzschnitten Abdrücke in einer 2—3''' dicken Wachsschichte, die vorher (natürlich auf der Rückseite) mit sehr dünn gewalztem Blei belegt worden, und fällt auf diese Abdrücke das Kupfer, oder man setzt den vorher durch Graphit leitend gemachten Holzschnitt selbst in die Kupfervitriollösung ein, nachdem alle nicht mit Kupfer zu überziehenden Theile durch einen Wachsüberzug gegen die Flüssigkeit wohl geschützt worden sind. Hier mag gelegenheitlich erwähnt werden, daß bei Modellen aus nicht metallischen Substanzen (Gyps, Wachs, Gutta Percha u. s. w.) die geringe Leitungsfähigkeit der äußerst dünnen Metall- oder Graphitschichte, womit sie überzogen werden, es nöthig mache, dieser Schichte möglichst viele Berührungspunkte mit dem, zum negativen Pol der Batterie führenden Leiter zu geben, was in den meisten Fällen durch Umgeben des Modells mit einem ganz dünnen Blei- oder Kupferstreifen erreicht wird, der sich den Flächen leicht anschmiegen und mit dem Graphit- oder Metallüberzuge überall in innige Berührung bringen läßt. Die Galvanoplastik findet weiter vortheilhafte Anwendung: Zur Vervielfältigung einer Zeichnung oder eines Gemäldes durch Kupferdruck (v. Kobell's Galvanographie). Zu diesem Ende entwirft man die betreffende Zeichnung mittelst einer mit Eisenroth versetzten Auflösung von Damarharz in Terpentinöl oder einer aus Spicköl und Mennig gebildeten, überhaupt mittelst einer die Elektrizität leitenden Farbe (eine jede Oelfarbe, namentlich Mineralschwarz, mit Terpentinöl, Mohnöl oder dgl. gehörig verdünnt, läßt sich gut verwenden, und recht geeignet ist auch eine Auflösung von Wachs in Copaivabalsam, mit einer Farbe gemischt), auf einer wohlpolirten silberplattirten oder versilberten Kupferplatte, so daß das blanke Silber die höchsten Lichter, das mehr oder weniger gedeckte die Schatten gibt, und fällt dann auf die das Gemälde enthaltende Fläche galvanisch Kupfer. Ist dadurch eine hinreichend dicke Kupferplatte zu Stande gebracht (und man kann die Verdickung dadurch sehr beschleunigen, daß man, nachdem sich der erste Ueberzug als ununterbrochenes Ganzes gebildet hat, auf diesem während der fortdauernden galvanoplastischen Operation allmälig zugleich Kupferfeilspäne aufstreut); so gibt sie unmittelbar in einer Kupferdruckpresse die beabsichtigten Abdrücke. Nach Palmer verschafft man sich ähnliche Druckplatten auf folgende Weise: Man überzieht eine glatte, vorher geschwärzte Kupfertafel mit einer dünnen Wachsschichte, bringt auf diese durch irgend ein Verfahren die gewünschte Zeichnung, radirt an den betreffenden Stellen mittelst einer hakenartigen Stahlnadel das Wachs in einer den Lichtern und Schatten entsprechenden Weise (in stärkeren und schwächeren, weiter von und dichter an einander stehenden Linien bis auf den schwarzen Grund der Wachsschichte und senkrecht gegen diesen Grund) heraus, bringt dann die so behandelte, vorher noch mit einem Graphitüberzuge versehene Tafel in den galvanoplastischen Apparat und die darin zu Stande gebrachte Platte in die Druckerpresse. Palmer gab dieser seiner Methode, bei der er vorzüglich den Ersatz der Holzschnitte im Auge hatte, den Namen Glyphographie. — Zum Ueberziehen gläserner Gefäße mit Kupfer, um sie (z. B. Retorten, zur chemischen Analyse dienende Verbrennungsröhren u. s. w.) dann an den überzogenen Stellen ohne Gefahr des Zerspringens dem offenen Feuer aussetzen zu können. Man reibt zu diesem Behufe die betreffenden Stellen, nachdem sie vorher durch Einwirkung der Flußspathsäure rauh und matt gemacht worden, mit Graphit ein, oder trägt fein gepulverten Graphit auf einen sehr dünnen Ueberzug von Canadabalsam oder Terpentinöl auf, und verfährt weiter wie mit einem andern, mit galvanischem Kupfer zu überziehenden Gegenstande u. s. f. Im Allgemeinen ist die Galvanoplastik sicherlich ganz vorzüglich geeignet zur Darstellung von Gegenständen des gewöhnlichen Bedürfnisses, die zahlreich gebraucht und sonst durch den Fallhammer, durch den Prägestock oder durch Guß erzeugt werden. Sie kann diese Gegenstände ganz so wie durch den Guß mit nachheriger Ciselirung, durch die plastische Kunst gleichsam veredelt, mit wahrem Kunstwerthe versehen und zugleich weit preiswürdiger liefern, als dies auf irgend einem andern Wege möglich ist. Dies ist die Aufgabe, die Schuh in seinem schon öfter genannten galvanoplastischen Institute vorzüglich verfolgt und zwar mit dem besten Erfolge. Seine Erzeugnisse stehen sowohl in Bezug auf Schönheit der Formen als Reinheit der technischen Ausführung, ciselirten Gußerzeugnissen vollkommen ebenbürtig zur Seite, ja eine ihm patentirte eigenthümliche Formmethode gestattet ihm, was die Möglichkeit anbelangt, untergearbeitete Theile herzustellen, noch viel weiter zu gehen als der Guß; die Copie fällt, man darf sagen, identisch mit dem Originale aus, und es wird alle Ciselirung erspart.

232. Galvanisches Versilbern, Vergolden, Verplatiniren, Abformen (Galvanoplastik) in Silber und Gold, Verzinnen, Verzinken, Verkupfern und Bronziren. Da diesen Operationen, worauf

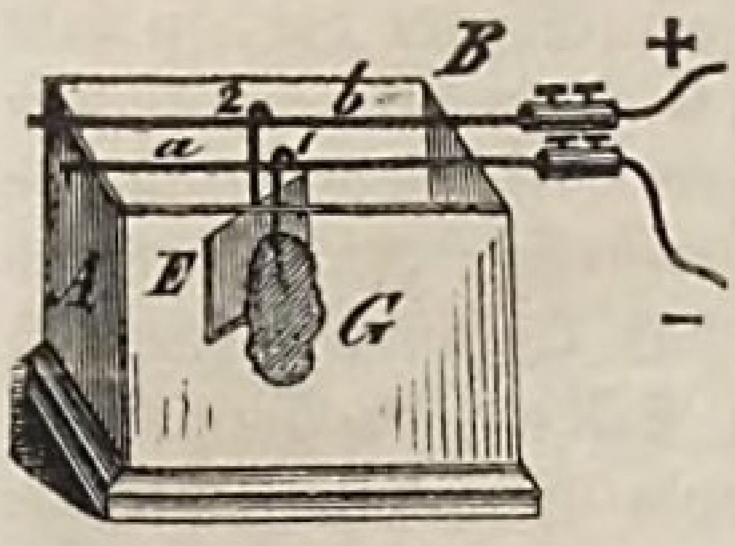
Elkington und Ruolz zuerst Patente nahmen, die nämlichen Principien zu Grunde liegen, wie der Galvanoplastik; so können wir uns hier im Allgemeinen blos auf die Angabe der dazu geeignetsten Salzlösungen und der geringen Unterschiede in der Einrichtung der erforderlichen Apparate beschränken. Zur galvanischen Versilberung, Vergoldung und Verplatinirung kleinerer Gegenstände kann auch der in der früheren Fig. 426 abgebildete Apparat dienen; nur bringt man, um mit einer kleineren Quantität der betreffenden kostspieligeren Flüssigkeiten auszureichen, diese in das innere Gefäß **B**, (dem man auch eine andere, dem Bedürfnisse nach passendere Gestalt z. B. eine größere Höhe und einen kleineren Durchmesser geben kann,) und hängt dann in derselben das zu versilbernde, zu vergoldende oder zu verplatinirende Objekt an einem dünnen, mit seinem zweiten Ende in der Schraubenklemme s festgemachten Platindraht auf, während das äußere Gefäß die verdünnte Schwefelsäure und auf der Spirale des gleichfalls in s befestigten Kupferdrahtes 2 die amalgamirte Zinkplatte enthält. Als Flüssigkeit in das Gefäß **B** eignet sich recht gut zur Versilberung eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd-Ammoniak, durch Auflösen von pulverisirtem Höllenstein in Aetzammoniakflüssigkeit (3 Drachmen des ersteren auf 2 Unzen der letzteren) bereitet, oder eine durch Kochen und nachheriges Filtriren eines Gemisches von 1 Gewichtstheil Cyansilber, 10 Gewichtstheilen Blutlaugensalz und 100 Gewichtstheilen Wasser erhaltene klare Lösung (einige Tropfen Schwefelkohlenstoff dem Cyansilber zugesetzt, macht, daß das Silber vollkommen glänzend niederfällt); oder am besten nach Thomas und Dellisse eine 8° Baumé starke Mischung von zweifach schwefligsaurem und saurem unterschwefligsaurem Ammoniak, worin man Silberoxyd oder Chlorsilber aufgelöst hat. Zur Vergoldung kann vorzüglich dienen eine Flüssigkeit, die erhalten wird durch Lösung von 1 Gramm Goldchlorid und 10 Grammen gelbem Cyaneisenkalium in 100 Grammen Wasser, Erhitzen der Lösung bis nahe zum Sieden, und nachheriges Filtriren; und für Platinirung empfiehlt sich: eine sehr verdünnte Lösung von Natriumplatinchlorid, die durch Auflösen von gleichen Gewichtsmengen Platinchlorids und reinen Kochsalzes im 100—200fachen Gewichte destillirten Wassers bereitet wird; oder Kaliumplatinchlorid, gelöst in Aetzkalilauge; oder (nach Ruolz) eine Lösung von 1 Gramm Cyanplatin und 10 Grammen gelbes Cyaneisenkalium in 100 Grammen Wasser. Talbot findet es vortheilhaft, der Lösung, aus welcher Silber, Gold oder Platin niedergeschlagen werden soll, eine Auflösung von Gallussäure in Wasser, Aether oder (am besten) Weingeist zuzusetzen. Man kann so in wenigen Minuten Gegenstände aus Kupfer, Messing, Bronze und Packfong versilbern, dieselben Metalle und überdieß noch Silber, Eisen und Stahl vergolden (letztere zwei, nachdem sie früher verkupfert wurden), endlich Kupfer, Messing und Silber verplatiniren, und die erhaltenen dünnen und ganz reinen Metallüberzüge widerstehen dem wiederholten Reiben mit Leder und mit dem Polirstahle. Die der Versilberung, der Vergoldung oder der Verplatinirung zu unterwerfenden Gegenstände sind vorher sorgfältig von Oxyd und Fett zu reinigen, was am besten dadurch bewerkstelligt wird, daß man sie einige Augenblicke in schwach gesäuertem Wasser liegen läßt und während dem mit einem Zinkstücke berührt, dann mit reinem Wasser abspült, und mit weicher Leinwand abtrocknet, wohl auch mit feinem Thon- oder Kreidepulver putzt. Bei der galvanischen Operation selbst nimmt man den betreffenden Gegenstand etwa von Minute zu Minute aus der Flüssigkeit heraus, spült ihn in reinem Wasser ab, trocknet ihn hierauf mit feinem Linnenzeuge, bringt ihn wieder in die Flüssigkeit und wiederholt dies so oft, bis der beabsichtigte Metallüberzug die gehörige Gleichförmigkeit und Dicke erreicht hat.

Kleine Gegenstände lassen sich, nach Frankenstein, sehr leicht versilbern oder vergolden, indem man sie in die nachfolgend angegebenen Versilberungs- und Vergoldungsflüssigkeiten bringt, darin 10—20 Minuten lang mit einem Zinkstängelchen berührt (größere Gegenstände gleichzeitig an mehreren Stellen) während die Flüssigkeit auf einer Temperatur von etwa 60° C.

erhalten wird. Flüssigkeit zur Versilberung: 5 Theile (dem Gewichte nach) Blutlaugensalz, 5 Theile kohlensaures Natron, 10 Theile Wasser, 2 Theile Kochsalz, 5 Theile flüssiges Ammoniak, 1 Theil Chlorsilber. Flüssigkeit zur Vergoldung: 6 Theile Blutlaugensalz, 4 Theile kohlensaures Kali, 10 Theile Wasser, 1 Theil Chlorgold. Die Lösung (für jeden der zwei Zwecke) wird immer $\frac{1}{2}$—$\frac{3}{4}$ Stunden gekocht und dann die klare Flüssigkeit vom Bodensatze abgegossen.

In Fällen, wo man mit dem vorher besprochenen Apparate aus den nämlichen Gründen, wie bei der Galvanoplastik, nicht ausreicht, kann wieder der in Fig. 431 dargestellte Anwendung finden, wo **AB** einen Zersetzungstrog bedeutet,

Fig. 431.



welcher die zu den galvanischen Operationen dienenden Flüssigkeiten enthält, ferner a, b zwei auf dem Gefäßrande aufliegende, von einander getrennte Drähte oder Stangen aus Kupfer oder Messing sind, wovon die eine a mit dem negativen Pole einer in der Nähe aufgestellten einfachen oder zusammengesetzten constanten Kette, der andere b mit dem positiven Pole verbunden ist, und ersterer den der Operation zu unterwerfenden Gegenstand **G**, letzterer aber einen Blechstreifen oder eine Platte **E** trägt, welche die positive Elektrode bildet, und, so wie die zwei Aufhängedrähte 1, 2 immer aus gleichem Metall mit jenem bestehen müssen, welches durch den Strom gefällt werden soll. Bei der Versilberung und Vergoldung lösen sich, während der Prozeß fortschreitet, die als positive Elektrode dienenden Streifen oder Platten (**E**) auf und ersetzen in der Flüssigkeit immer wieder das Silber und Gold, welches aus derselben gefällt worden. Demnach kann man auch einen versilberten oder vergoldeten Gegenstand wieder entsilbern oder entgolden, wenn man ihn im Zersetzungstroge als Anode gebraucht. Es ist dies nützlich in Fällen, wo die galvanische Versilberung oder Vergoldung zu Folge unrichtiger Leitung des Prozesses nicht entsprechend ausgefallen ist.

Schuh fällt auch das Silber galvanisch in beliebig dicken, biegsamen, hämmer- und hartlöthbaren Schichten, arbeitet also in seinem Institute ebenso galvanoplastisch in diesem Metalle wie in Kupfer; er wendet dabei Cyansilber an, hält aber die übrige Beschaffenheit der Flüssigkeit, und das Wesen seines Verfahrens geheim. Die Gegenstände, die er so in Silber liefert, kommen seinen galvanoplastischen Erzeugnissen in Kupfer, sowohl was technische Ausführung als was künstlerischen Werth anbelangt, ganz gleich. Nach den bisherigen Versuchen Schuh's steht auch die Möglichkeit, auf gleiche Weise galvanisch in Gold zu formen, keinen Augenblick mehr in Zweifel. Wie groß der Vortheil ist, der aus diesen Fortschritten in Bezug auf Wohlfeilheit der Erzeugung silberner und goldener Gegenstände erwächst, indem der Preis derselben fast lediglich nur durch ihren Metallwerth bestimmt wird und die sonst (bei getriebener Arbeit u. s. w.) so kostspielige Façon beinahe ganz wegfällt, springt Jedermann von selbst in die Augen.

Die galvanische Verzinnung, Verzinkung, Verbleiung und Bronzirung unterscheiden sich von den beschriebenen Verfahrungsarten wesentlich nur durch die in Anwendung zu bringenden, spezifischen Flüssigkeiten. Zur Verzinnung nehme man eine, durch anhaltendes Kochen von Zinnasche in Aetzkalilauge bereitete Lösung von Zinnoxydkali oder besser, nach Rosoleur, ein Bad von 21 Pfd. Regenwasser, 10 Pfd. pyrophosphorsaures Kali oder Natron und 4 Pfd. geschmolzenes Zinnchlorür, und die positive Elektrode hat aus Zinn zu bestehen; für die Verzinkung und Verbleiung empfiehlt sich eine Auflösung von Zinkoxyd und Bleioxyd (Bleiglätte) in wässerigem Aetzkali, durch Kochen des Oxydes in der Kalilauge und nachheriges Abgießen der klaren Flüssigkeit bereitet. Das galvanische Verzinken findet vorzüglich für Eisen, um dasselbe gegen das Rosten zu schützen, sehr nützliche Anwendung und das so mit einer dünnen Zinkhaut über-

zogene Metall führt dann den Namen: galvanisirtes Eisen. Zum Verkupfern wendet Ruolz Cyankupfer, in Cyankalium gelöst, an. Zur Bronzirung dient endlich eine Flüssigkeit, welche durch Auflösen von soviel Cyankalium in 5000 Theilen Wasser, daß die Lösung bei 20° R. 4° Beaumé hat, und nachherigen Zusatz von 30 Theilen Cyankupfer und 10 Theilen Zinnoxyd bereitet wird.

Auch Eisen und Messing läßt sich galvanisch reduciren. Die Eisenreduction gelingt, nach Böttger, schon bei bloßer Berührung des mit Eisen zu überziehenden Metalles mit einem Zinkstäbchen, mit einem Gemische aus Ammonium-Eisenchlorür und schwefelsaurem Eisenoxydul-Ammoniak, welches aus einer concentrirten Lösung von 2 Gewichtstheilen Eisenvitriol und 1 Gewichtstheil Salmiak erhalten wird. Zersetzt man mittelst einer etwa aus 3—4 Daniell-schen Elementen bestehenden Batterie eine gesättigte Lösung von Eisenoxydul-Ammoniak oder von Ammonium-Eisenchlorür mit der Vorsicht, daß die in die Lösung getauchte aus einem Eisenblech bestehende Anode durch eine poröse Wand von der Kathode geschieden ist, so überzieht sich diese bald mit einer spiegelblanken Schichte Eisens. — Ein galvanischer Messingüberzug gelingt, nach Heeren, am besten mit einer Flüssigkeit, die bereitet wird: durch Lösen von 1 Gewichtstheil Kupfervitriol in 4 Theilen heißen Wassers, von 8 Theilen Zink in 16 Theilen heißen Wassers, und von 18 Theile Cyankalium in 36 Theilen heißen Wassers, Mischen dieser Lösungen, wo ein Niederschlag entsteht, der nachher wieder verschwindet. Sollte dies nicht geschehen, so setze man noch etwas Cyankalium zu und verdünne endlich die Mischung mit 250 Th. destillirten Wassers. Zur Fällung gehört ein Strom von etwa 2 Bunsen'schen Elementen.

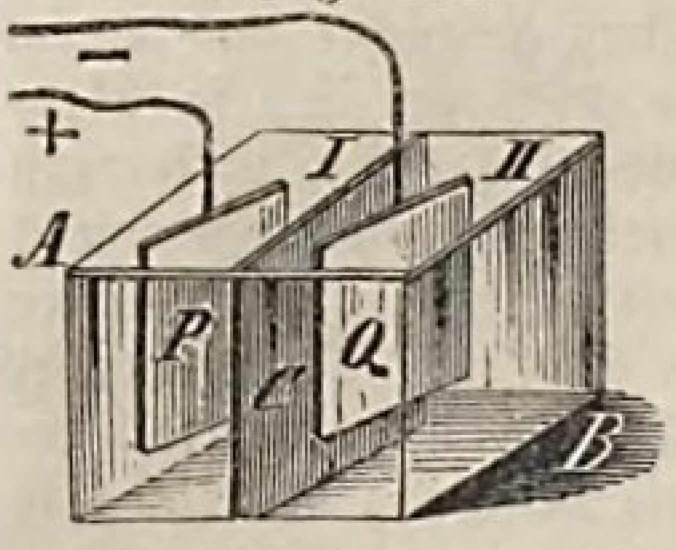
Das oben besprochene galvanisirte Eisen ist selbst an von Zink freigebliebenen Stellen, vorausgesetzt, daß diese keine zu große Ausdehnung haben, gegen Rost geschützt und ist in dieser Beziehung besser als verzinntes Eisen, das an nackten Stellen sehr bald und stark rostet. Es kömmt dies offenbar von der starken elektromotorischen Kraft der Zinkeisenkette her, welche das verzinkte Eisen darstellt . . . (†). Man galvanisirt mit Vortheil: Nägel, Ketten, Gitter, Wagenbeschläge, Gartenwerkzeuge, und sehr nützlich zeigt sich die Anwendung von galvanisirtem Blech zum Dachdecken, für Dachrinnen, Wasserleitungen u. s. w.

Es folgen hier noch einige zur galvanischen Versilberung und Vergoldung als besonders gut empfohlene Flüssigkeiten: Eine Auflösung von krystallisirten Cyansilberkalium in dem zehnfachen Gewichte Wasser, welcher nachher noch $^1/_8$ Cyankalium zugesetzt und worauf das Ganze gekocht wird, bis sich kein Ammoniak mehr entwickelt. Dieses Bad, nach Braun's, soll allen Anforderungen der Praxis entsprechen; Schwefelgold gelöst in neutralem Schwefelkalium; Goldoxyd in Kaliumeisencyanür-Auflösung unter Zusatz von Aetzkali gekocht und vom Niederschlage abfiltrirt (soll eine sehr schöne Vergoldung liefern); Kaliumgoldcyanür mit überschüssigem Cyankalium, welches Bad, nach Braun's, also bereitet wird: Lösen von Gold in Königswasser, Verdünnen der Lösung, Abfiltriren, Abdampfen des Filtrates zur Trockenheit nach Zusatz von 3 Theilen Kochsalz auf je 10 Theile des angewendeten Goldes, Lösen des Rückstandes in Wasser, Versetzen der Lösung mit Aetzammoniak im Ueberschusse; der entstehende gelbbraune Niederschlag wird abfiltrirt, ausgewaschen und in einer hinreichenden Menge Cyankaliumlösung gelöst; man setzt dann einen Ueberschuß dieses Salzes hinzu und verdünnt mit so viel Wasser, daß etwa 2 Pfund auf jedes Loth Gold kommen; die Lösung wird so lange gekocht, bis kein Ammoniak mehr entweicht, dann wird noch so viel Wasser zugesetzt, daß auf jedes Loth Gold im Ganzen 4 Pfund Wasser kommen. Wird die so erhaltene Goldlösung erwärmt angewendet, so wird die Farbe der Vergoldung besonders schön matt.

233. Das galvanische Aetzen (Galvanokaustik) gründet sich auf die am Schlusse des Absatzes **224** und unter (††) S. 463 auseinandergesetzte Thatsache, daß die durch den Volta'schen Strom ausgeschiedenen Stoffe mit den Elektroden sich chemisch verbinden, wenn die Bedingungen dazu vorhanden sind. Erfolgt wirklich eine solche Verbindung und eignet sich ein anderer, nächst der betreffenden Elektrode vorhandener Stoff die Produkte dieser Verbindung an; so wird die Elektrode allmälig immer mehr zerstört (zerfressen). Wird dieses Zerfressen dadurch, daß man die Elektrodenplatte mit einer auf die eben bezeichnete Art unzerstörbaren Substanz bis auf gewisse, frei belassene Stellen überzieht; so werden blos diese angegriffen und wie durch ein gewöhnliches Aetzmittel zerfressen. Um eine Kupferplatte galvanisch zu ätzen, braucht man sie nur mit dem sogenannten Aetzgrunde zu überziehen, in diesem die beabsichtigte Zeichnung bis auf das blanke Metall hindurch einzuradiren und sie nachher, als positive Elektrode einer constan-

ten Kette, in Kupfervitriollösung einer andern als negative Elektrode dienenden blanken Kupferplatte gegenüber zu stellen. Während diese sich mit Kupfer überzieht, wird an den radirten Stellen durch den Sauerstoff des zersetzten Wassers Kupferoxyd gebildet und dieses von der im Kupfervitriole frei gewordenen Schwefelsäure immer wieder aufgenommen und entfernt. — Eine Eisen- oder Stahlplatte **P** wird Behufs galvanischer Aetzung nach vorhergegangener Zubereitung an einem, mit dem positiven Pole der constanten Kette verbundenen Drahte in die eine, mit schwacher Kochsalzlösung gefüllte Zelle **I** eines Behälters aus Glas oder Porzellan) **AB** Fig. 432 gehängt, der durch eine senkrechte, poröse Scheidewand **C** (aus thierischer

Fig. 432.



Blase, Thon o. gl.) in der Mitte abgetheilt ist und in seiner zweiten Zelle **II** Kupfervitriollösung, in dieser aber eine gleichgiltige Kupferplatte **Q** enthält, die, der Eisen- oder Stahlplatte parallel, an einem mit dem negativen Pole der Kette in Verbindung stehenden Drahte hängt. Die poröse Scheidewand kann auch wegbleiben, dann muß jedoch der ganze Behälter mit Kochsalzlösung gefüllt und die negative Elektrode durch eine zweite Eisen- oder Stahlplatte gebildet werden. — Beim Aetzen von Silber dient als Aetzflüssigkeit am vortheilhaftesten eine Lösung aus schwefelsaurem Natron oder schwefelsaurem Silber, und als negative Elektrode darin ist dann natürlich eine Silberplatte anzuwenden. Den Prozeß hat man in allen Fällen so lange fortzusetzen, bis die geätzten Linien tief genug erscheinen. Durch eine genaue Regulirung der Entfernung und des Winkels, unter welchem die sich gegenüberstehenden Platten einander dargeboten werden, kann man die Tiefe der Tinte beliebig treffen, ja sie sogar örtlich ungleich stark machen (wie z. B. bei einer Landschaft, wo Vorder- und Hintergrund verschieden dunkel erscheinen müssen). Eben so läßt sich an einzelnen Stellen eine ungleiche Stärke durch größere oder geringere Annäherung einer entsprechend gestalteten negativen Elektrode leicht und sicher hervorbringen. Durch diese Mittel hat man die Aetzung in seiner Gewalt, und es fällt bei gehöriger Aufmerksamkeit und Sorgfalt die Glätte und Tiefe der Linien viel reiner und regelmäßiger aus, als nach dem gewöhnlichen Aetzverfahren.

Ein anderer Vorzug des galvanischen Verfahrens ist, daß, da man die Flüssigkeit, in welche die Platte kömmt, ganz neutral oder nur schwach sauer wählen kann, der Aetzgrund nicht so leidet, wie bei Aetzungen mit Salpetersäure. Auch findet die bei der gewöhnlichen Aetzmanier immer vorhandene Gasentwicklung, zu Folge welcher auf den zu ätzenden Linien sich Blasen bilden, die das Zutreten neuer Säure hindern und daher eine Ungleichheit in der Tiefe der Linien verursachen, nicht Statt. Ein Uebelstand des galvanischen Aetzens ist, daß die galvanische Elektrizität sich stärker an den Grenzen der Platte als in der Mitte äußert, daher die Aetzung an den Rändern lebhafter vor sich geht, als nach der Mitte hin und man das Erzeugen von schwachen und mittleren Tönen weniger in seiner Gewalt hat.

234. Elektrochemische Färbung. Ebenso in industrieller wie in wissenschaftlicher Beziehung interessant sind die schönen, regenbogenartigen und mannigfaltigen andern Farben, die sich auf den wohlgereinigten (am besten polirten) Oberflächen der Metalle oder mit metallischen Ueberzügen versehener Körper (z. B. auf versilbertem, vergoldetem u. s. w. Porzellan) dadurch erzeugen lassen, daß man auf denselben Lösungen gewisser Metallsalze oder auch bestimmte andere Flüssigkeiten durch den Volta'schen Strom zersetzt, indem z. B. die betreffende metallische Oberfläche mit einem Pole einer hinreichend kräftigen Batterie verbunden und die Spitze eines mit dem zweiten Pole vereinigten Drahtes (eines Platindrahtes, der in eine Glasröhre eingeschmolzen ist) dieser Oberfläche gegenüber in einer Distanz von etwa $^1/_2{}'''$ angebracht wird. Die Farben, welche als mit der Spitze concentrische Ringe erscheinen, fallen verschieden aus, je nachdem die besagte Verbindung mit dem positiven oder negativen Pole statt findet, und entstehen bei gewissen Metallen und Flüs-

sigkeiten nur in dem einen dieser beiden Fälle. Man erhält z. B. auf einer mit dem + Pol verbundenen (also positiven) Silber-, Gold- oder Platinfläche mit einer Lösung von essigsaurem Blei (die betreffende Flüssigkeit muß die Metallfläche immer 1—2''' hoch bedecken) in Regenbogenfarben schillernde Ringe; essigsaures Kupfer erzeugt auf negativem Silber ähnliche Ringe, auf positivem hingegen kann damit keine Färbung hervorgebracht werden, und die Farben des Silbers im vorigen Falle und in diesem sind (wegen Verschiedenheit der in beiden Fällen sich ablagernden Stoffe) verschieden. Läßt man den von dem einen Pole der Batterie ausgehenden Draht in mehrere der Metallfläche gegenüberstehende Spitzen endigen, so bilden sich eben so viele, einander verschiedenartig durchkreuzende Ringsysteme, die Farbenerscheinung verliert dadurch zwar an Regelmäßigkeit, wird aber um so mannigfaltiger und ändert mit der Anzahl und Gruppirung der Spitzen ihr Aussehen. Die Farben widerstehen im Allgemeinen mehr oder weniger der Reibung, werden durch Erhitzen in überraschender Weise belebt und ertragen einen ziemlichen Grad von Hitze.

Sehr schöne Farben der eben besprochenen Art erhielt Elsner, als er theils polirte, theils mit verdünnter Säure behandelte Stahlplatten in eine Auflösung von Grünspan in Essig legte, und darin dann einige Sekunden oder Minuten lang mit einem Zinkstabe berührte, sie nachher aus der Lösung herausnahm, mit reinem Wasser abspülte, mit reiner weicher Leinwand abtrocknete und hierauf über der Flamme einer Weingeistlampe allmälig hinreichend stark erhitzte. Während der Berührung mit dem Zinkstabe bilden sich um diesen herum farbige, hellere und dunklere Ringe, Pfauenaugen ähnliche Flecke, die desto größer werden, je länger die Berührung dauert. Während der Erhitzung entstehen nach und nach immer andere Farben und man darf nur die Platte der weiteren Erhitzung entziehen, wenn gerade eine Farbe entstanden ist, die man zu haben und zu behalten wünscht, und sie sitzt dann fest genug, um ziemlich starkes Reiben zu vertragen. Nimmt man statt der Kupfersalzlösung eine Lösung von essigsaurem Blei, so erhält man anders gefärbte Pfauenaugen, die das Eigenthümliche haben, in der Mitte stets einen dunkeln Fleck zu zeigen, um welchen herum beim Erwärmen farbige Kreise entstehen. Man kann in diese Art galvanischer Färbung Mannigfaltigkeit bringen, wenn man die Stahlplatte zuerst mit der Kupfersalzlösung und einem Zinkstäbchen, nachher in gleicher Weise mit essigsaurem Blei behandelt, hierauf trocknet und erhitzt. Auch auf Silber- und Platinplatten werden schöne Pfauenaugen erhalten.

Bei Erzeugung der elektrochemischen Farben, in denen mehrere Artikel aus gepreßtem Messingblech, als Leuchter, Glocken, Tassen u. s. w. im Handel vorkommen, ist zum Gelingen, nach Bergeat, Folgendes zu beobachten. Als Flüssigkeit ist anzuwenden eine Auflösung von Bleioxyd in Kalilauge, bereitet durch anhaltendes Kochen von einigen Löffeln voll Bleioxyd (Massicot oder gemahlener Bleiglätte) in einer Lauge aus etwa 1 Pfund Aetzkali und 4 Pfd. Wasser unter Umrühren und Abgießen der nach dem Erkalten klar gewordenen Flüssigkeit vom Bodensatze. Die Batterie sei eine einfache Bunsen'sche Kette größerer Sorte oder 2 nacheinander verbundene Daniell'sche Ketten. Die Flüssigkeit (die Bleioxydlösung) bringt man in einen Becher oder eine Schale aus Blei oder Messingblech von 2—4mal größeren Dimensionen als das zu färbende Objekt, verbindet Becher oder Schale mit dem Zink und das vorher polirte, wohl gereinigte Objekt mit der Kohle oder dem Kupfer der Kette und sorgt dafür, daß das vorher untergetauchte Objekt die Wände nicht berührt. Nach einigen Augenblicken kann man es gefärbt wieder herausnehmen. Die Farbe hängt übrigens von der Dauer der Operation ab und geht (auf Glockenmetall und gelbem Messing) von Goldgelb durch alle Nuancen in Orange, dann in Roth mit allen Nuancen eines blauen Blickes, endlich in Grün über.

Becquerel hat der von Nobili im Jahre 1826 entdeckten elektrochemischen Färbung in neuester Zeit eine große Ausdehnung und eine solche Vervollkommnung gegeben, daß sie, vorzüglich in der Methode Metalle mit Oxyden zu überziehen, bereits mehrseitig in die Industrie übergegangen ist. Ohne uns hier in eine Auseinandersetzung der Becquerel'schen Arbeit einlassen zu können, mag nur beispielsweise des Verfahrens gedacht werden, eiserne, stählerne oder messingene Gegenstände mit Blei- oder Eisensuperoxyd zu überziehen, um sie entweder gegen Rost zu schützen oder ihnen eine gefälligere (dem Messing z. B. eine bronzeartige) Farbe zu geben. Der Ueberzug mit Bleioxyd wird erhalten, wenn man in eine poröse Thonzelle eine Flüssigkeit bringt, welche durch Auflösen von 200 Grammen Aetzkali in 2 Litres destillirten Wassers, nachherigen Zusatz von

150 Grammen Bleiglätte, Kochen und Absetzenlassen und endliches Verdünnen der Flüssigkeit mit dem gleichen Volum Wasser bereitet worden, die Thonzelle in einem Glasgefäße mit durch Salpetersäure stark gesäuertem Wasser (die Säure soll mindestens $1/_{20}$ Gewichtstheil des Wassers betragen) umgibt, in diese verdünnte Säure eine Platinplatte, in die Flüssigkeit der Thonzelle aber den zu überziehenden, vorher wohl gereinigten und polirten Gegenstand taucht, letzteren mit dem positiven und die Platinplatte mit dem negativen Pole einer constanten elektrischen Kette in Verbindung bringt. Während an der negativen Elektrode sich reichlich Wasserstoff entwickelt, verwandelt der an die positive Elektrode (an den zu überziehenden z. B. eisernen Gegenstand) sich begebende und, weil er eben aus einer früheren Verbindung ausgeschieden wird, mit größerer Verwandtschaft oder Verbindungsfähigkeit versehene Sauerstoff das daselbst befindliche Bleioxyd in Bleisuperoxyd, welches sich auf dem besagten Gegenstande ablagert, demselben adhärirt, und einen bräunlichschwarzen Ueberzug bildet, der das Poliren mit Englischroth und mit dem Blutsteine verträgt, dabei einen ziemlich lebhaften Glanz annimmt und selbst beim Biegen des Gegenstandes nicht abspringt. Zur Erlangung eines Eisensuperoxyd-Ueberzuges kömmt in die Thonzelle eine ammoniakalische Auflösung von Eisen, die durch Auflösen von schwefelsaurem Eisenoxydul (Eisenvitriol) in Wasser und Zusatz von Ammoniakflüssigkeit erhalten wird. Der entstandene braunrothe Ueberzug läßt sich mit Leder und Englischroth poliren, und wenn die Oberfläche vorher gehörig vorbereitet worden, verträgt er auch den Polirstahl. Eine andere, gleichfalls von Becquerel in Vorschlag gebrachte und zuerst in Angriff genommene technische Anwendung der chemischen Kraft des Volta'schen Stromes ist dessen Benützung zum Probiren der Erze und zum Ausbringen der Metalle aus denselben. Sie gründet sich ganz auf dieselben Prinzipien, welche durch die vorhergehenden Beispiele erläutert sein dürften. Die bei den seither von Becquerel selbst und Andern angestellten Versuchen bis jetzt gewonnenen Resultate berechtigen zur Hoffnung einer künftigen günstigen Lösung der durch Becquerel gestellten Aufgabe.

Schließlich verdienen noch einige Erscheinungen hier Erwähnung, die sich aus den über die zersetzende Wirkung des elektrischen Stromes bisher vorgetragenen Grundsätzen erklären. Es sind folgende: Der Kupferbeschlag der Schiffe wird durch stellenweise auf demselben angebrachtes Zink vor Zerstörung durch das Seewasser geschützt, weil das durch den Contact mit dem Zinke negativ gewordene Kupfer sich mit dem ebenfalls elektro-negativen Sauerstoff des durch den Strom der gebildeten Zink-Kupferkette zersetzten Wassers nicht verbinden, sich nicht oxydiren kann; dieser Sauerstoff muß sich vielmehr am + Zinke abscheiden und oxydirt dieses. Auf dem Kupfer lagern sich die Oxyde der im Meerwasser enthaltenen Salze von Kalk, Magnesia u. s. w. in Schichten ab, die nach und nach so dick werden, daß Kräuter, Muscheln rc. rc. sich daran festsetzen und einen zwar schützenden, aber auch die Bewegung des Schiffes träge machenden Ueberzug bilden. Ein ähnlicher Schutz ist offenbar auch auf eiserne Schiffe anwendbar. Daß an verzinktem (galvanisirtem) Eisen auch die unverzinkt gebliebenen Stellen gegen den Rost (Oxydirung) geschützt sind, wie S. 479 unter (†) angeführt wurde, hat denselben Grund, wie der eben besprochene Schutz des Kupferbeschlages. — Eiserne Nägel, womit Kupferblech z. B. bei Bedachungen festgenagelt ist, werden an der immer feuchten Luft sehr schnell durch Rost zerstört (da Eisen durch Berührung mit Kupfer positiv elektrisch wird, sich daher den Sauerstoff der durch die Eisen-Kupferkette zerlegten Luftfeuchtigkeit aneignet). Aus gleichem Grunde erklärt sich, warum gelöthete Gefäße durch Flüssigkeiten zuerst an den Löthstellen angegriffen werden; warum Quecksilber sich leichter oxydirt, wenn es mit andern Metallen gemischt, als wenn es rein ist; warum sich in metallenen Leitungsröhren aus kalkhältigem Wasser dort am meisten Kalk absetzt, wo sie zusammengelöthet sind u. s. w.

235. Licht- und Wärmewirkungen des Volta'schen Stromes. Im Momente, wo man die Pole einer Volta'schen Batterie leitend verbindet oder die leitende Verbindung aufhebt, entsteht ein glänzender Funke (Schließungsfunke und Trennungsfunke), dessen Stärke weniger von der Anzahl als von der Größe der Plattenpaare abhängt, mithin nicht so sehr Spannung als Menge der

Elektrizität voraussetzt. Die Funken vieler und großer Paare sind ihres hellen Glanzes wegen selbst in einer Lichtflamme noch sichtbar. Die Helligkeit des Funkens kann durch Amalgamiren des Drahtendes, an welchem er überspringt, bedeutend erhöht werden, (weil da ein Theil des Quecksilbers verbrennt). Ein lebhaftes Funkensprühen erhält man mittelst des auf S. 441 beschriebenen Blitzrades, wenn es in die Kette eingeschlossen und in schnelle Bewegung versetzt wird. Schließungsleiter, die ein zu geringes Leitvermögen oder einen zu kleinen Querschnitt haben, um den Strom unverzögert durchzulassen, erwärmen sich. Diese Erwärmung steigt bei Metalldrähten, wenn sie im Verhältnisse zur Kraft der Batterie kurz und dünn genug sind, bis zum lebhaftesten Weißglühen, ja bis zum Schmelzen derselben und richtet sich ebenfalls mehr nach der Größe als nach der Anzahl der Plattenpaare. Platindrähte gerathen in eine für das Auge kaum erträgliche Weißglut und schmelzen endlich ab; Eisen- und Stahldrähte verbrennen, nachdem sie ebenfalls weißglühend geworden, mit lebhaftem Funkensprühen. Nach den Untersuchungen von Lenz ist die Erwärmung eines Drahtes durch den galvanischen Strom dem Leitungswiderstande des Drahtes und dem Quadrate der Stromstärke (i) proportional; nach Joule gilt dasselbe Gesetz für die Wärmemenge, welche in einem Theile der galvanischen Kette, er sei starr oder flüssig, und nach Poggendorff auch für die Wärmemenge w, welche die gesammte Kette vom Widerstande r (wornach $w = ri^2$) in bestimmter Zeit entwickelt. Uebrigens hängt nach Andrews und Grove die in einem Drahte durch den Volta'schen Strom erzeugte Wärme auch von dem den Draht umgebenden Mittel ab, so daß sie z. B. in einer Wasserstoffatmosphäre eine andere (weit geringere) ist, als in atmosphärischer Luft, in Stickgas, in Aetherdampf u. s. w. unter sonst gleichen Umständen. Es kömmt diese Abhängigkeit, nach Clausius, von der verschiedenen Wärmeabgabe des Drahtes an die verschiedenen Mittel her.

Im höchsten Grade intensiv ist das Licht und die Hitze, welche zwischen Kohlenspitzen entstehen, die mit den Polen einer hinreichend groß- und vielplattigen Batterie durch Drähte in Verbindung gesetzt, einander bis zur Berührung genähert und nachher wieder soweit außer Berührung gebracht worden, daß der Strom noch von der einen zur andern übergeht. Dieses Entfernen (nach bereits eingetretenem Erglühen der Spitzen) muß allmälig geschehen, und läßt sich bei sehr starken Batterien auf mehrere Linien, ja Zolle steigern, ohne daß der Strom unterbrochen wird. Dabei erscheint zwischen den Spitzen ein leuchtender Bogen, dessen Lichtglanz jenem der Sonne nahe kömmt, und in welchem selbst die am schwersten schmelzbaren Substanzen schmelzen. Zu gehörigem Gelingen dieser Versuche müssen Stangen aus vollkommen ausgeglühten Holzkohlen gleichförmigen Gefüges oder (noch besser) aus jener Masse genommen werden, aus welcher die Kohlenglieder der Bunsen'schen constanten Kette bestehen, dieselben müssen mit den Polen der Batterie an möglichst vielen Punkten in Verbindung stehen, und es muß von den zwei einander zugekehrten Enden der Kohlenstangen wenigstens das eine zugespitzt sein.

Das ganze Lichtphänomen kömmt, der allgemeineren Ansicht nach, von der zwischen den Kohlenspitzen übergehenden **E**, von glühenden Kohlentheilchen, die von der positiven Kohlenelektrode zur negativen übergeführt, wie Breda sich ausdrückt, weggeschleudert werden, und vom Glühen der Kohlenspitzen selbst. Neef hat (an seinem Magnetelektromotor, von welchem später die Rede sein wird) die höchst merkwürdige Thatsache entdeckt, daß das elektrische Licht immer nur an der — Elektrode entsteht; daß es daselbst primitiv und unabhängig von der Verbrennung ist, daß die + Elektrode ganz lichtlos, aber dafür die Quelle der an und zwischen den Elektroden auftretenden Wärme sei; daß die Wärme bei ihrem Ursprunge (aus der + Elektrode) eine dunkle ist, und daß so Licht und Wärme

nicht schon bei ihrem Entstehen zusammenfallen, sondern erst, nachdem sie auf einen gewissen Grad gesteigert worden, wo dann Flamme und Verbrennung entsteht, welche letztere immer an der + Elektrode beginnt und sich erst nach und nach der — Elektrode mittheilt.

Ganz eklatant zeigt sich diese Neef'sche Entdeckung, wenn man mittelst einer Linse oder passenden Linsencombination das Bild der Kohlenspitzen, während zwischen denselben der Strom übergeht und der elektrische Lichtbogen sich zeigt, vergrößert auf eine Wand projicirt. Man sieht da ganz deutlich die + Kohlenelektrode lebhaft glühen und in glühende Kohlentheilchen zerstäuben, während die leuchtende — Elektrode gleich nach Schließung der Kette gar nicht und später, zu Folge Wärmemittheilung von Seite der + Elektrode, immer weit schwächer glüht, ferner die Kohlenspitzen ihre Rollen wechseln, so wie (mittelst eines Commutators, wovon später) die Stromrichtung umgekehrt wird.

Bei Hervorbringung der eben beschriebenen Licht- und Wärmephänomene zeigt sich vorzüglich die ausgezeichnete Wirkung der constanten Batterien und unter diesen besonders der Grove'schen und Bunsen'schen, indem sie hierin bei viel geringerer Anzahl und Größe der Elemente die größten anderen Volta'schen Batterien vollkommen ersetzen und in Bezug auf die mögliche Dauer des Phänomens natürlich weit übertreffen. Ein einziges Bunsen'sches Element mit 3″ hoher und 4″ breiter Zinkplatte erhält einen 1″ langen Platindraht von der Dicke eines Pferdehaares und feine Kohlenspitzen constant im Glühen. Eine Kette aus 6 Elementen macht einen 6″ langen Platindraht von der Dicke einer feinen Stricknadel lebhaft glühend und erzeugt zwischen Kohlenspitzen einen Lichtbogen von dem Auge unerträglichem Glanze. Mit 20—30 Kohlen-Zinkpaaren der gewöhnlichen Dimensionen kömmt ein 2—3 Fuß langer Eisendraht von Nr. 6 fast augenblicklich zum Weißglühen und zerfällt gleich darauf in unzählige glühende Kügelchen. Stahlfedern zersprühen in Funken, und Quecksilber beginnt im Augenblicke des Eintauchens der Poldrähte mit lebhafter Flamme zu brennen. Eine im physikalischen Kabinete des k. k. polytechnischen Institutes vorhandene Kohlenbatterie, bestehend aus 80 Elementen von 1 Q.-Fuß Zinkoberfläche macht einen 8 Fuß langen und ¼ Linie dicken Platindraht weiß glühend und schmilzt ihn ab, und gibt zwischen den Kohlenspitzen einen mehr als 1 Zoll langen Lichtbogen von wahrhaftem Sonnenglanze.

Das selbst zum Lesen hinreichende Licht, welches längere und dickere (zu einer Spirale gewundene), durch den Volta'schen Strom weißglühend erhaltene Platindrähte verbreiten, hat Grove zur Beleuchtung in Kohlengruben vorgeschlagen, um, da sich diese Drähte in Glasballone oder dgl. hermetisch einschließen, also mit der Luft in den Gruben außer Berührung bringen lassen, die schrecklichen Unglücksfälle zu verhüten, welche aus der Entzündung des unter dem Namen des schlagenden Wetters in Kohlenbergwerken häufig vorkommenden Knallgases durch die Grubenlichter so oft entspringen. Dieser Grove'sche Vorschlag, so wie die von anderen Seiten her gemachten Vorschläge, den zwischen Kohlenspitzen erscheinenden Lichtglanz zur Beleuchtung auf Leuchtthürmen, der Straßen, Plätze, Theater u. s. w. anzuwenden, sind jedoch bis jetzt auf eine den nothwendigen Anforderungen der Praxis genügende Weise noch nicht wirklich in Ausführung gebracht worden. Es dürfte auch schwerlich je zur wirklichen Benützung des galvanischen Lichtes für die erwähnten Zwecke kommen, da derselben kaum zu beseitigende Hindernisse im Wege stehen, als da sind: 1) der grelle, den Augen gewiß eben so unangenehme als schädliche Gegensatz zwischen den von dem äußerst starken Lichte beleuchteten und den in dessen Schatten gelegenen Räumen und Gegenständen, die ganz dunkel erscheinen müssen; 2) die große Schwierigkeit, ja beinahe die Unmöglichkeit, das Licht längere Zeit bei gleicher Stärke zu erhalten, indem der Strom selbst der constantesten Batterie allmälig bedeutend an Stärke abnimmt und selbst die besten bisher bekannt gewordenen Regulatoren (d. s. Apparate, um die Kohlenspitzen trotz des allmäligen

Verbrennens derselben, vorzüglich der die positive Elektrode bildenden Spitze, stets in derselben Entfernung von einander und somit das Licht beständig bei gleicher Stärke zu erhalten, und wir werden einen solchen Regulator, da jetzt die zum Verständniß seiner Einrichtung und Wirkung nöthigen Vorkenntnisse uns noch fehlen, an einem geeigneten Orte später, noch in der Elektrizitäts-Lehre und auch in der Lehre vom Lichte, nämlich bei den optischen Instrumenten, näher besprechen) das Wechseln der Stärke und ein momentanes Intermittiren des Lichtes nicht ganz beseitigen; 3) die großen Kosten, die mit der Unterhaltung der Batterie verbunden sind, so wie der Umstand, daß man ihre und überhaupt des ganzen Beleuchtungsapparates Besorgung, die manche Kenntnisse und Geschicklichkeit voraussetzt, nicht einem Personale anvertrauen kann, wie es sonst bei der Beleuchtung verwendet wird.

Was den Kostenpunkt anbelangt, so fällt dieses Hinderniß wohl weg, wenn bei den Batterien, die in neuester Zeit zuerst von Roberts und Dr. Watson angewendet wurden, wirklich im Handel sehr gesuchte, werthvolle Nebenproducte in dem Maße gewonnen werden, wie es von den genannten Männern angegeben wird, welche behaupten, daß der Gewinnung dieser Nebenproducte wegen das elektrische Licht ganz kostenlos erhalten werden könne. Bei der Batterie von Roberts besteht jedes der (50) Elemente aus einer Zinnplatte von 6″ Höhe auf 4″ Breite, die zwischen 2 Platinplatten von denselben Dimensionen angebracht ist. Jede Zinnplatte mit ihrem Platingehäuse taucht in einen Porzellantrog von 2′ Tiefe, welcher mit verdünnter Salpetersäure gefüllt ist. Das Zinn bildet unter dem Einflusse des Stromes Zinnoxydhydrat, welches sich am Boden des Troges ansammelt (und zu diesem Ende hat dieser eine so beträchtliche Tiefe) und nur in Aetznatron aufgelöst zu werden braucht, um zinnsaures Natron zu erhalten, das in der Zeugdruckerei in großer Menge gebraucht wird und daher die Kosten der Elektrizitätserzeugung wenigstens zum größten Theil deckt. Die Batterie soll sehr kräftig sein, mit bestem Erfolge zur Hervorbringung des elektrischen Lichtes dienen und 5 – 6 Stunden lang ziemliche Constanz besitzen. Dr. Watson setzt der Flüssigkeit in der Batterie gewisse Salze zu, welche unter dem Einflusse des Stromes neue Verbindungen eingehen, unlöslich werden, zu Boden fallen, entfernt werden können und die Metallplatten rein, so wie auch die erregende Flüssigkeit in ursprünglicher Reinheit und Stärke zurücklassen, während sonst die Flüssigkeit ihre Eigenschaften ändert und allmälig immer mehr an Reinheit und Stärke verliert, bis endlich ihre galvanische Action ganz aufhört. In einem Falle setzte er eisenblausaures Kali zu, welches mit Eisensalzen (die Batterie war eine Gußeisen-Zink-Batterie, d. h. bei jedem Elemente bestand das negative Glied aus Gußeisen und die Flüssigkeit darin war blos verdünnte Schwefelsäure) Berlinerblau bildet, welches so als Nebenprodukt, das einen großen Werth hat, gewonnen wird. Bei einer Batterie aus platinirtem Blei und aus Zink, erregt durch Salpeterschwefelsäure, setzte er doppelt chromsaures Kali zu und erhielt als Nebenprodukt sehr schönes Chromgelb verschiedener Tinte, und bei Zusatz von Kalk erhielt er eine brillante rothe Farbe. Alle diese in der Batterie zu Boden fallenden unlöslichen Salze stellen, nach dem Waschen und Trocknen, ebenfalls im Handel sehr gesuchte, werthvolle, die Kosten der Batterie aufwiegende Nebenprodukte dar.

Schließlich mag über das elektrische Kohlenlicht hier noch Folgendes Platz finden: Nach photometrischen Untersuchungen (Lichtstärkemessungen) von Fizeau und Foucault läßt sich die Intensität des Kohlenlichtes einer Batterie von 46 Bunsen'schen Elementen, woran die Kohlencylinder 5·5 Cent. inneren Durchmesser haben und 9 Cent. tief eintauchen, die Salpetersäure 20⁰ Baumé und die Schwefelsäure 15⁰ zeigt, durch die Zahl 235 ausdrücken, wenn die Intensität des Sonnenlichtes 1000 gesetzt wird. Die Intensität des Kalklichtes (von welchem erst später näher gesprochen werden kann) ist nur 6·85. Mit 80 Elementen stieg die Lichtstärke nur auf 238; 3 Reihen von Elementen, jede Reihe zu 46 Elementen neben einander oder 46 Elemente von 3facher Oberfläche gaben nur die Intensität 385. Man sieht also, daß diese nicht mit der Anzahl der Elemente, d. i. mit der Stromintensität, wohl aber mit der Oberfläche der Batterie, also mit der Elektrizitäts-Quantität stark zunehme. Die angeführten Zahlen sind zwar eigentlich für die chemischen Intensitäten, d. i. die Intensitäten der chemischen Wirkungen der verglichenen Lichtarten, gefunden worden; weitere Versuche haben aber gezeigt, daß diese chemischen Intensitäten und die optischen in ziemlich gleichem Verhältnisse stehen. Bunsen erhielt mit 48 seiner Elemente einen 7m.m langen Lichtbogen und ein mit jenem von 572 Stearinkerzen oder 63 Gasflammen gleich starkes Licht. Das Licht, welches Deleul und Archereau bei einem Versuche auf dem Place de la Concorde mit 200 Bunsen'schen Elementen erhielt, glich jenem von 2025 Stearinkerzen. Man konnte dabei in 150 Meter Entfernung noch recht gut lesen. Gelegenheitlich soll hier erwähnt werden, daß Archereau bei der Kohlenbatterie Callan's Flüssigkeit, d. i. ein Gemische aus ziemlich gleichen Volumtheilen concentrirter Salpetersäure und Schwefelsäure, als sehr wirksam anwendet.

Nach Casselmann's Untersuchungen übertrifft das galvanische Licht jenes einer Kerzenflamme 117130mal an Stärke; mit zunehmender Stromstärke nimmt auch die Leuchtkraft des Lichtbogens zu; das Licht des Bogens eignet sich vollkommen zum Daguereotypiren . . . (†); der Lichtbogen wird durch einen Magnet abgelenkt, und zwar, wenn, während der Strom senkrecht auf den magnetischen Meridian (von Ost nach West) geht, der Magnet im magnetischen Meridian über oder unter dem Bogen, in etwa 2—3″ Entfernung vom Strom gehalten wird, angezogen oder abgestoßen, je nachdem der Magnet in einer mit einer frei gerichteten Magnetnadel gleichen oder entgegengesetzten Stellung sich befindet . . . (††); verhält sich der Flammenbogen, sowohl was den Widerstand für den Strom, als seine atraktorische Eigenschaft magnetischen Kräften gegenüber anbelangt, genau so wie jeder feste Leiter der galvanischen E; endlich ändert der Lichtbogen seine Beschaffenheit mit jener der Elektroden und des diese umgebenden Mittels.

Das Erglühen- und Verbrennenmachen der Drähte, insbesondere des Eisendrahtes, durch den galvanischen Strom wendet man bereits mit dem günstigsten Erfolge zum Sprengen von Felsen, vorzüglich unter Wasser, an, und es wird zu diesem Ende in den, aus dickem Kupferdrahte bestehenden Schließungsleiter der Batterie ein kurzes Stück dünnen ausgespannten Eisendrahtes eingeschaltet, dieses in das Bohrloch versenkt, darin mit der nöthigen Menge Pulver bedeckt, übrigens das Bohrloch mit Sand angefüllt und dann die Kette geschlossen, wobei der verbrennende Draht das Pulver entzündet. Die beiden in das Bohrloch versenkten, das Eisendrahtstück eingeschaltet enthaltenden Kupferdrahtstücke müssen natürlich von einander vollkommen isolirt (das eine z. B. mit Papier wohl umwickelt) sein. Man kann einen und denselben Schließungsdraht in der angegebenen Art durch mehrere nach einander angeordnete Bohrlöcher leiten und so an verschiedenen Stellen gleichzeitig Sprengungen bewirken. Eine Batterie aus 4 Kohlen-Zink- oder eben so vielen Platin-Zink-Elementen ist dazu gewöhnlich hinreichend.

Um nicht für jede Sprengung erst den zwischen den Kupferdrahtstücken eingeschalteten Eisendraht herrichten zu müssen, erdachte Roberts Patronen, die man in gehöriger Anzahl vorräthig haben kann, und welche die in Fig. 433 und 434 anschaulich gemachte Einrichtung haben. abcd sind zwei etwa 10′ lange, 1‴ dicke, mit gut gewichstem Baumwoll- oder Wollgarn übersponnene, nachher in einer Länge ef von 6″ zusammengedrehte Kupferdrähte, die an ihren zu einer Gabel aufgebogenen, mit einer Feile metallisch blank gemachten Enden einen etwa ½″ langen, dünnen Eisendraht ab aufgewickelt und mit Zinn festgelöthet haben. Diese Vorrichtung ist in einer Zinkröhre mn von 3″ Länge und ¾—1″ Weite, den Körper der Patrone bildend, mittelst eines wohl eingepaßten und verkitteten Korkes so eingeschlossen, daß der ausgespannte Eisendraht (ab) frei, etwa in der Mitte der Zinkröhre sich befindet. Ist dann diese Röhre durch das zweite noch offene Ende mit Jagdpulver angefüllt, so wird auch diese Oeffnung mit einem Kork und durch nachheriges Verkitten (mit einem Kitt aus 1 Theil Wachs und 2 Theilen Harz) wasserdicht verschlossen, und die Patrone ist fertig. (In neuester Zeit wird die Patronenhülle mit Vortheil aus Gutta Percha verfertigt.) Die Einsetzung der Patrone in das Bohrloch zeigt Fig.435. In diesem befindet sich die Patrone in der Mitte der ganzen zum Sprengen erforderlichen Pulverladung; c ist ein Pfropf aus Werg oder Stroh so in das Bohrloch eingeschoben, daß zwischen ihm und der Ladung noch ein lufterfüllter Raum bleibt, und das Bohrloch oberhalb dieses Pfropfes ist mit trockenem Sand ausgefüllt. Die aus dem Loche hervorstehenden Drahtenden werden durch Zuleitungsdrähte mit der Batterie vereinigt, die natürlich hinreichend weit, wenigstens 60—70 Fuß, entfernt sein muß.

Fig. 433.

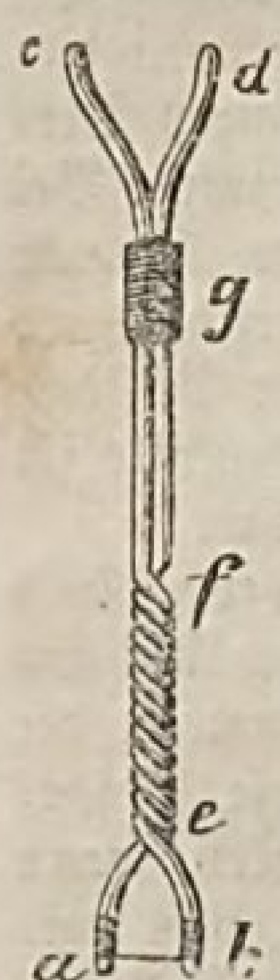


Fig. 434.

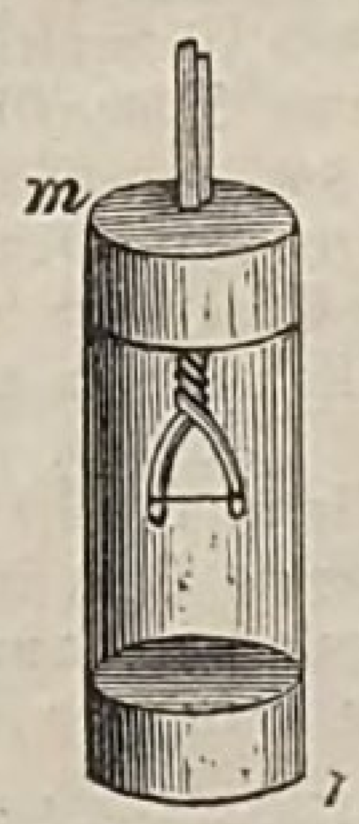
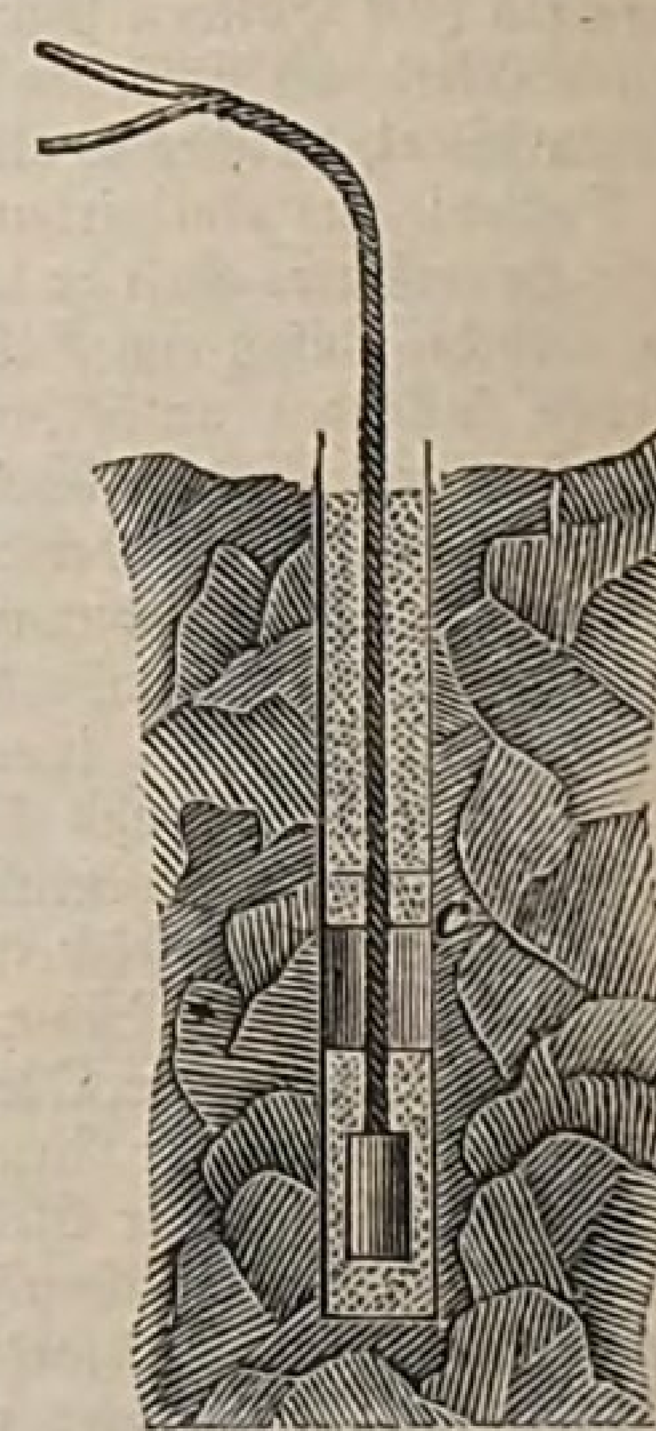


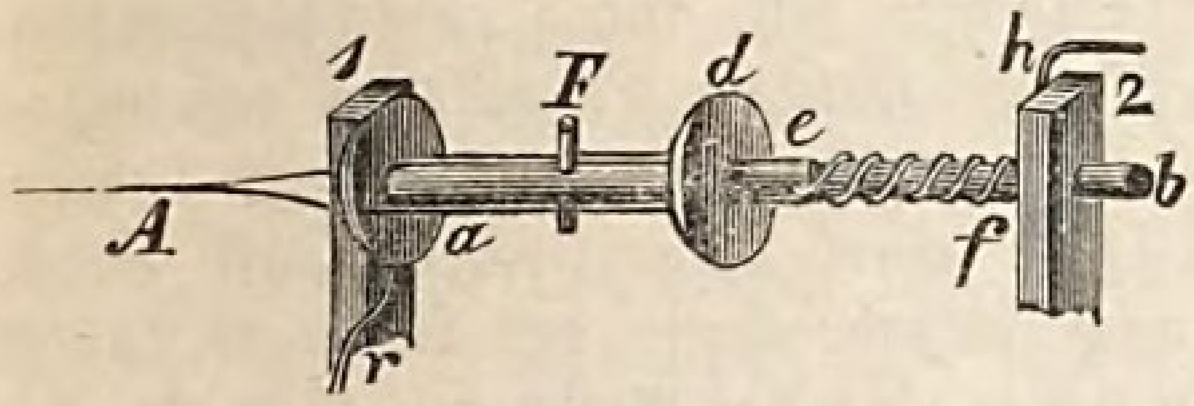
Fig. 435.



Für die Fälle, wo die Person, welche die Batterie zu schließen und dadurch die Entzün-

dung des Pulvers im Bohrloche zu bewerkstelligen hat, sich nicht bei der Batterie befinden kann, sondern die Schließung derselben aus der Ferne her zu vollführen ist, hat Roberts hiezu die in Fig. 436 anschaulich gemachte Vorrichtung erdacht. An zwei gegenüberstehenden Seiten des

Fig. 436.



die Batterie enthaltenden Kastens ragen über denselben zwei Holzsäulen 1, 2 empor, die oben durch einen cylindrischen, 1″ dicken Stab b, ebenfalls von Holz, vereinigt sind. a ist eine an der Säule 1 unverrückbar festgemachte, 3–4″ große Scheibe aus Zinn, durch welche der Stab b hindurchgeht, und an welcher ein zu dem einen, z. B. dem positiven Pol der Batterie führender Draht r angelöthet ist, so daß sie selbst also gleichsam den + Pol der Batterie bildet. d ist eine zweite Zinnscheibe, welche, damit sie längs des Holzstabes sicher so hin und her geschoben werden kann, daß sie sich und der Scheibe a stets parallel bleibt, auf der von a abgewendeten Seite eine Zinnröhre e angesetzt hat und durch einen spiralförmig um den Holzstab gewundenen und bei f befestigten, federnden Draht von der Scheibe a entfernt gehalten wird. Ist das freie Ende h dieses Drahtes mit dem zweiten Pol der Batterie in leitende Verbindung gesetzt und so die Scheibe d selbst zu diesem Pol gemacht, so darf zum Behuf der Schließung der Batterie nur die Scheibe d mit der Scheibe a in Berührung gebracht werden, und dies geschieht aus der Ferne her mittelst einer entsprechend langen Schnur A, die sich in der Nähe der eben beschriebenen Vorrichtung in zwei Schnüre theilt, die durch Löcher in a frei hindurch gehen und mit ihren Enden an der Scheibe d befestigt sind. Um ein unzeitiges Schließen der Batterie durch ein etwa zufälliges Anziehen an der Schnur A zu verhindern, läßt sich zwischen den Scheiben a, d quer durch den Holzstab ein Holzstift F stecken.

236. Magnetisirende Kraft des elektrischen Stromes. Der elektrische Strom beurkundet seine magnetische Kraft nicht blos durch Einwirkung auf bereits geweckten Magnetismus (**220**), sondern vermag auch in Körpern, die des Magnetismus fähig sind, diesen hervorzurufen. Wird ein von einem hinreichend kräftigen galvanischen Strome durchzogener Draht mit Eisenfeilspänen in Berührung gebracht, so bleiben diese an demselben hängen (so lange der Strom darin fortdauert), und führt man den Draht an einem Stabe aus Stahl oder weichem Eisen in einer zu dessen Länge nicht parallelen, am besten gegen dieselbe senkrechten Richtung vorbei, so erhält der Stahlstab bleibenden, der Eisenstab aber nur vorübergehenden, d. i. mit dem Aufhören des Stromes wieder verschwindenden Magnetismus, und zwar zeigt das Ende, welches nach der linken Hand eines mit dem Strome schwimmend und das Gesicht dem Stabe zuwendend gedachten Menschen gekehrt ist, den Nord- und das andere den Südpol. Um diese Wirkung auf den Stab ausgiebiger zu machen, muß man mehrere in gleichem Sinne wirkende Ströme an demselben vorbei oder den nämlichen Strom immer nach gleicher Richtung um denselben herumführen. Letzteres läßt sich dadurch leicht bewerkstelligen, daß der Strom durch ein schraubenartiges Drahtgewinde geleitet wird, in dessen Höhlung der betreffende Stab steckt, jedoch ohne die Windungen zu berühren. Man kann auf diese Art aus weichem Eisen Magnete erzeugen, welche an Stärke alle Stahlmagnete weit übertreffen und Elektromagnete, oder weil sie nur so lange dauern, als der Strom währt, auch temporäre Magnete genannt werden und von Sturgeon entdeckt wurden. Um solche Magnete von großer Tragkraft zu erhalten, braucht man nur einen dicken, hufeisenförmig gebogenen, cylindrischen Stab aus wohlausgeglühtem, ganz weichem Eisen auf die in Fig. 437 bei **I** anschaulich gemachte Weise mit dickem Kupferdrahte zu umwinden, der mit Seide überzogen ist, damit der Strom nicht seitwärts aus einer Windung in die nächste oder in das Eisen übertreten kann, sondern immer nach der Länge des Drahtes fortgehen muß. (Geschieht das Umwinden so, daß, wie bei **II** Fig. 437, die einzelnen Windungen einander nicht berühren, so braucht der Draht nicht mit Seide überzogen zu sein, wohl aber der Eisenstab, und es ist gut, diesen noch außerdem zu überfirnissen.) Werden dann die Drahtenden a, b mit den Polen einer hinreichend kräftigen elektrischen Kette

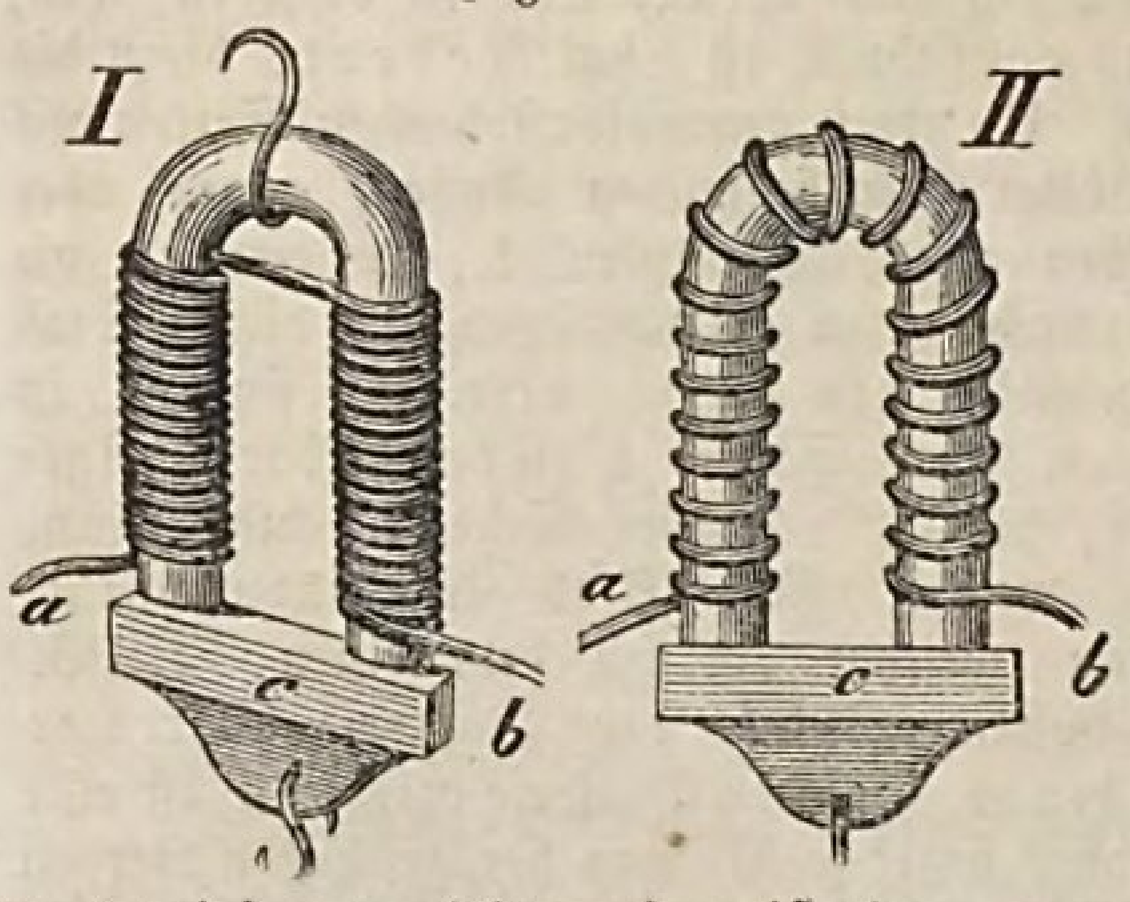


Fig. 437.

vereinigt, so kann der magnetisch gewordene Eisenstab, wenn er lang und dick genug und mit hinlänglich langem und dickem Drahte umwickelt ist, mittelst eines an seine ebenen Schenkelflächen sich innig anschmiegenden Ankers c aus weichem Eisen Lasten von mehreren Tausend Pfunden tragen, und behält einen Theil seiner magnetischen Kraft selbst noch nach Unterbrechung des Stromes, aber nur so lange, bis der Anker mit Gewalt abgerissen oder überhaupt von dem Hufeisen getrennt worden, wo dann aller Magnetismus wieder verschwunden ist (nur wenn der Eisenstab nicht aus ganz weichem Eisen besteht, bleibt er noch nach Entfernung des Ankers etwas magnetisch)... (†). Daß einem Elektromagnet nach Oeffnen der Kette und vor Abtrennung des Ankers immer noch Magnetismus bleibt, soll, nach Allexander, ein für alle Male dadurch aufgehoben werden, daß man den Eisenkern in der Spirale, während durch diese ein kräftiger Strom geht, stark erwärmt. Ein cylindrischer Eisenstab, der 1′ lange und 1·5″ dicke Schenkel hat, und wie bei I in Fig. 437 mit 1·5‴ dickem Kupferdrahte umwickelt ist, wird durch ein einziges Grove'sches Element zu einem Magnet von 100—150 Pfund Tragkraft.

Die magnetisirende Wirkung des Volta'schen Stromes hängt nur von seiner Quantität ab; man wendet daher zur Erzeugung von Elektromagneten immer nur eine einfache, am besten Grove'sche oder Bunsen'sche Kette an. Man muß aber, um einen gehörigen Effekt zu erzielen, selbst bei Anwendung größerer Elektromotoren (Volta'scher Elemente), die man, hier nebenbei gesagt, sich leicht dadurch verschaffen kann, daß mehrere kleinere der betreffenden einfachen Ketten durch metallische Verbindung der Zinkplatten unter einander und eine eben solche Verbindung der Platin- oder Kohlenglieder zu einer einzigen einfachen Kette vereinigt werden, den Strom, da derselbe bei einfachen Ketten stets eine sehr geringe Intensität hat, durch dicke, nur einen sehr kleinen Leitungswiderstand leistende Drähte um das Eisen herumführen. Man kann jedoch auch mit Strömen geringerer Quantität, aber größerer Intensität große Wirkungen erreichen, wenn durch eine größere Zahl von Drahtwindungen, also durch öfteres Herumleiten des Stromes um das Eisen gleichsam ersetzt wird, was ihm an Quantität abgeht. Die größere Intensität des Stromes gestattet sowohl diese Vermehrung der Windungen, als auch die Anwendung eines weniger dicken Drahtes, da ein intensiverer Strom auch einen größeren Leitungswiderstand zu überwinden vermag. Zur Bestimmung der Pole eines Elektromagnetes dient die Regel: in einer links gewundenen Drahtspirale enthält immer die dem Eintritte des Stromes nähere Hälfte den Nord-, die andere den Südpol, und in einer rechts (wie an einen Stopfelzieher) gewundenen Schraube findet das Gegentheil statt... (††). Genaue, von Jacobi und Lenz durchgeführte Untersuchungen haben über die Umstände, von welchen die Stärke des durch Volta'sche Ströme in weichem Eisen hervorgerufenen Magnetismus (des Elektromagnetismus) abhängt, Folgendes gelehrt: 1. Die Stärke dieses Magnetismus wächst in geradem Verhältnisse mit der Stärke des angewendeten Stromes*);

*) Nach neueren Untersuchungen (Pogg. Ann. Nr. 1 und 12, 1852, S. 147, 159 und 514) wachsen, wie Poggendorff gezeigt hat, die Tragkräfte langsamer als die Stromstärken, und zwar mit steigender Stromstärke immer langsamer, so daß die Tragkraft sich asymptotisch einem constanten Werthe nähert; nach Koosen findet das der Stromstärke proportionale Wachsen des Magnetismus wohl bei dickeren, nicht aber bei sehr dünnen

2. die Dicke des Drahtes der Spirale ist bei gleicher Anzahl der Drahtwindungen und der nämlichen Stärke des sie durchziehenden Stromes ganz gleichgiltig. (Nur erfordern dickere Drähte, ihres geringeren Leitungswiderstandes wegen, zur Hervorbringung eines gleichstarken Stromes keine so kräftige Kette, übrigens wird immer das Maximum des Magnetismus erhalten, wenn der gesammte Widerstand des die Spirale bildenden Drahtes dem gesammten Widerstande in der Volta'schen Kette gleich ist.) 3. Die Weite (der Durchmesser) der Drahtwindungen hat nur an den Enden des Eisenkernes einigen Einfluß, und eine größere Weite daselbst vermindert den Effekt; 4. die Totalwirkung der ganzen Drahtspirale ist die Summe der Wirkungen aller einzelnen Windungen, es nimmt daher bei gleichbleibender Stromstärke der erregte Magnetismus mit der Anzahl der Windungen in geradem Verhältnisse zu, und es ist, bezüglich des Magnetismus der Endflächen des Stabes, gleichgiltig, ob die nämliche Anzahl Windungen auf der ganzen Länge des Stabes gleichmäßig verbreitet oder nur an den Enden desselben (in Lagen über einander) aufgehäuft ist; (wenn die Windungen nicht blos neben, sondern auch über einander liegen, verursacht die etwas schwächere Wirkung der weiteren Endwindungen eine kleine Abweichung von diesem Gesetze); 5. der Magnetismus, den massive Eisenstäbe von der nämlichen Länge und von mehr als $1/3''$ Durchmesser unter dem Einflusse gleicher Ströme und unter sonst gleichen Umständen annehmen, ist ihrem Durchmesser proportional; 6. die Kräfte, womit zwei Elektromagnete oder ein Elektromagnet und weiches Eisen ohne in Berührung zu sein, also aus der Ferne, einander anziehen, sind bei gleichen Abständen den Quadraten der Stärke der Volta'schen Ströme direkt proportional.

Mehrere Versuchsreihen, welche Dub, zu Berlin, in neuester Zeit über die anziehende Kraft der Elektromagnete in die Ferne und auf Anker angestellt hat, führten bei geradlinigen Elektromagneten folgende Resultate herbei: 1. Die Anziehung nimmt mit der Entfernung vom Magnete sehr schnell und zwar desto schneller ab, je geringer sie (die Anziehung) in Berührung ist; 2. von einiger Entfernung ab, ist die Anziehung um so geringer, je dünner der Anker (der immer von cylindrischer Form angewendet wurde) oder der Magnet oder beide sind; 3. die Anziehung der Anker wächst bei gleichem Durchmesser mit der Länge derselben bis zu einem gewissen Maximum (es gilt dies sowohl bei Berührung als in Entfernung); 4. bei gleichen Massen der Anker ist ihre Anziehung aus geringer Entfernung gleich stark, so daß ein kurzer dicker Anker eine eben so große Anziehung erfährt, wie ein langer dünner von derselben Masse; 5. die Anziehungen sind unter sonst gleichen Umständen den Quadraten der magnetisirenden Ströme proportional; 6. die Anziehungen verhalten sich wie die Quadrate der Anzahl der Windungen der elektromagnetischen Spirale (bei Verlängerung des Drahtes dieser letzteren); 7. die Anziehungen verhalten sich wie die galvanischen Effekte, d. i. die Stromstärken multiplizirt mit der Anzahl der Windungen; 8. die Anziehung ist unter sonst gleichen Verhältnissen desto größer, je näher an den Polflächen alle Drahtwindungen angehäuft sind (es gilt dies bis zu einer nahe an den Polflächen liegenden Grenze); 9. bei sonst gleichen Verhältnissen wächst die Anziehung mit der Länge der Eisenkerne, sie bleibt die nämliche, wenn die Durchmesser von Magnet und Anker gewechselt werden, und wird ein Maximum, wenn Magnet und Anker gleich lang und nahe von gleichem Gewichte sind.

Eisenstäben, und nicht für Ströme Statt, die eine kurze Dauer haben oder in kurzen Zeitintervallen oft unterbrochen werden. Nach Müller fällt für größere Stromstärken der Stabmagnetismus weit geringer aus als das Gesetz der Proportionalität es fordert; er nimmt in geringerem Verhältnisse zu als die Stromstärke, indem er sich allmälig einem absoluten Maximum nähert, und dieses ist dem Quadrate des Durchmessers, also dem Querschnitte des Stabes proportional.

Bei Versuchen mit hufeisenförmigen Elektromagneten fand Dub die Anziehung den Quadraten der Durchmesser der Eisenkerne proportional und ferner das 5., 7. und 8. der obigen für geradlinige Elektromagnete aufgefundenen Gesetze auch hier geltend.

Nach v. Kolke's Versuchen mit einem sehr großen Elektromagnet ist der Magnetismus stärker an den Kanten als auf den Flächen der Pole, und auf diesen Flächen mit der Entfernung von den Kanten immer schwächer werdend; bei schwächerem Magnetismus zeigte sich das Verhältniß zwischen der Stärke am Rande und in der Mitte größer als bei stärkerem.

Du Moncel's Erfahrungen zu Folge hat ein Elektromagnet, wenn er das erste Mal gebraucht wird, unter sonst gleichen Umständen die größte Tragkraft; diese zeigt sich bei folgender Anwendung immer bedeutend schwächer, besonders wenn man ihm durch eine stärkere Batterie eine größere Kraft gegeben hat und dann auf eine schwächere Batterie zurückgeht. (Compt. rend. B. 36 von 1853 S. 387.)

Nach v. Feilitsch bringt der Elektromagnetismus in das Innere des weichen Eisens ein, und es ist die Tiefe seines Eindringens der Stärke des ihn erzeugenden galvanischen Stromes proportional; hohle und massive Eisencylinder erhalten bei derselben Stromstärke gleich starken Magnetismus, wenn nur bei ersteren (den hohlen Cylindern) überhaupt zur Entwicklung desselben Eisenmasse genug vorhanden ist

Der Volta'sche Strom erleidet, indem er zur Magnetisirung von Eisen verwendet wird, nicht im mindesten eine Schwächung; das Magnetisiren ist also für den Strom keine Arbeit. Sobald jedoch durch Anziehungen und Abstoßungen der Pole des Elektromagnetes ein mechanischer Effekt ausgeübt, z. B. eine Bewegung erzeugt wird, tritt augenblicklich eine mit diesem Effekte im Verhältniß stehende Veränderung der Stärke des magnetisirenden Stromes ein... (†).

Romershausen schließt den weichen Eisenkern sammt den ihn umgebenden Drahtgewinde in eine Röhre aus weichem Eisen, von gleicher Länge mit dem Kerne und 2 Millimeter Dicke ein, versieht einen derartigen hufeisenförmigen Elektromagnet mit einem Anker, der aus zwei, an die Pole anliegenden, unter einander durch ein Messingstück verbundenen Theilen aus weichem Eisen besteht, und erzielt so die doppelte Tragkraft, indem dann jeder Schenkel das nämliche Gewicht trägt, welches bei gewöhnlicher Einrichtung des Ankers (wo dieser nämlich ein beide Pole verbindendes, ununterbrochenes Eisenstück ist, was nach Romershausen's Ansicht die Magnetismen beider Pole stört und die Tragkraft vermindert) und ohne die Eisenröhre beide Schenkel zusammen tragen. (Dingler's Journ. B. 120. S. 361.)

Nach Müllers Untersuchungen erhält durch den Volta'schen Strom unter sonst gleichen Umständen den stärksten Magnetismus, außer dem weichen Eisen, welches in dieser Hinsicht oben ansteht, der ausgeglühte Gußstahl (der hierin dem Eisen ziemlich nahe kommt); nachher kommt in absteigender Folge gehärteter und dann dunkelblau angelassener Gußstahl; weit zurück hinter dem Eisen steht hart belassener Stahl und am allerschwächsten magnetisch wird Gußeisen. Der (nach Aufhören des Stromes) zurückbleibende Magnetismus ist am stärksten im harten Stahle, dann im angelassenen und nachher im ausgeglühten Stahle.

Hier mag gelegenheitlich der interessanten Erscheinung Erwähnung geschehen, daß Metallstäbe in einem schraubenförmigen Schließungsdraht einer Volta'schen Kette beim abwechselnden Oeffnen und Schließen der letzteren tönen. Marrian erhielt mit Eisenstäben von 5—20 Fuß Länge und 0·25—2 Zoll Dicke immer den Grundton, den sie auch beim Streichen ihres Endes mit einem Metalle gaben. Nach de la Rive findet ein Tönen auch bei unmittelbarem Leiten des Stromes durch einen Eisenstab oder Eisendraht (besonders stark, wenn dieser angelassen ist) Statt; wie Eisendraht verhalten sich auch andere Metalldrähte, nur bezüglich der Stärke des Tones zeigt sich Verschiedenheit.

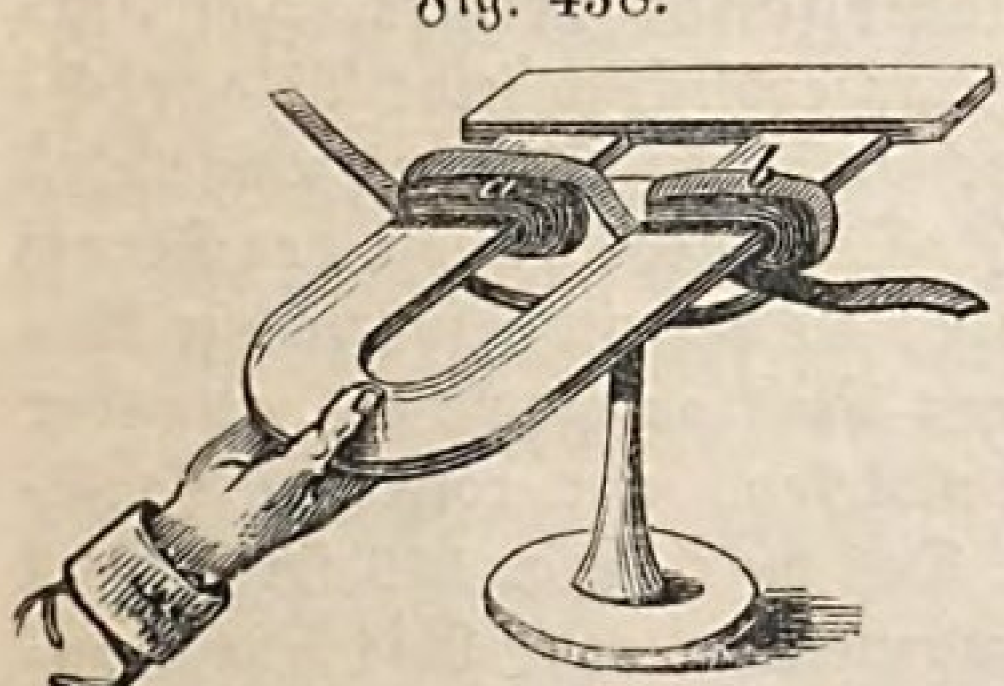
Auch die Maschinenelektrizität besitzt im Zustande der Bewegung magnetisirende Kraft (so wie sie auch ablenkend auf die Magnetnadel wirkt, was man an einem Multiplikator sieht, an welchem von den Enden des durch mehrmaliges Ueberspinnen mit Seide und nachheriges Ueberfirnissen sehr gut isolirten Drahtes, das eine mit dem Conductor und das andere mit dem Reibzeuge vereinigt ist, indem die Nadel den Strom und zwar als vom Conductor zum Reibzeuge gehend, anzeigt); denn entladet man eine kräftige Leidner Flasche oder eine Flaschenbatterie durch einen Draht, der spiralförmig um ein Glasröhrchen gewickelt ist, worin sich eine Stahlnadel befindet, so ist diese nachher magnetisch, und dasselbe geschieht durch den Strom der Elektrisirmaschine, vorausgesetzt, daß die Drahtspirale an mehreren Stellen unterbrochen ist, so daß daselbst Funken überspringen, oder daß der Strom

auf andere Weise, etwa durch Einschaltung feuchter Schnüre (S. 415), verlangsamt wird. Nach Rieß hat eine stärkere Ladung der Batterie nicht unbedingt auch eine stärkere Magnetisirung zur Folge, und man kann aus der der Nadel gewordenen Polarität nicht (nach der Ampère'schen Regel auf S. 444, nämlich, daß eine im positiven Strome schwimmende und mit dem Gesichte der Nadel zugewendet gedachte Person den Nordpol zur linken Hand hat) auf die Richtung des Entladungsstromes schließen. Auch der Nebenstrom (siehe (128) auf S. 413) besitzt magnetisirende Kraft und verhält sich bezüglich dieser ganz ähnlich dem Hauptstrome.

Praktische Anwendungen des Elektromagnetismus.

237. Erzeugung kräftiger Stahlmagnete. Hufeisenförmige Elektromagnete sind sehr leicht zu verschaffende und kräftige Mittel zur schnellen Erzeugung starker Stahlmagnete, und man hat zu diesem Ende mit einem Elektromagnete die betreffenden Lamellen oder Stäbe von Stahl nur nach den in **175** auseinandergesetzten Streichmethoden zu behandeln. Noch schneller und vollständiger kömmt man aber bei Erzeugung von Stahlmagneten mittelst des Volta'schen Stromes nach dem von Elias angegebenen Verfahren zum Ziele, wornach die zu magnetisirende Stahlstange ihrer ganzen Länge nach durch die Höhlung eines kurzen, aber dicken Cylinders hin und her geschoben wird, welcher aus 20—30 von einander isolirten, neben und reihenweise über einander gelagerten Windungen eines etwa $\frac{1}{8}''$ dicken und 22—25 Fuß langen, wohlisolirten Kupferdrahtes oder eines Bandes aus Kupferblech (bei letzterem läßt sich die Isolirung einfach durch Zwischenlagen von geleimtem Papier herstellen) gebildet und von dem Strome einer einfachen Platin- oder Kohlen-Zinkkette von etwa $\frac{1}{3}$ □ Fuß wirksamer Platinoberfläche durchzogen ist. Der Drahtcylinder hat dann **1**″ Höhe, etwa $1\frac{1}{2}''$ Wanddicke und $1\frac{1}{2}''$ Höhlungsdurchmesser; den zu magnetisirenden Stahlstab armirt man am obern und untern Ende mit einem Stück weichen Eisens, und öffnet, um ihn am Ende der Operation aus dem Drahtcylinder herauszunehmen, die Kette, während er sich gerade mit seinem mittleren Theile in dem Cylinder befindet. Hat der Stab die Hufeisenform, so muß das Hin- und Herschieben bei vorgelegtem Anker aus weichem Eisen geschehen, und es ist nach Böttger am vortheilhaftesten, beide Schenkel des Hufeisens gleichzeitig der Wirkung des Stromes auszusetzen, indem man dieselben durch eine doppelte, ∞förmig gewundene Kupferbandspirale, wie sie Fig. 438 zeigt, hin und her bewegt und nachher die Kette öffnet. Der Stab hat schon nach ein-, höchstens zweimaligem Hin- und Herbewegen das Maximum des Magnetismus, dessen er fähig ist, angenommen, und man gewinnt auf diese Art, falls sonst Alles, namentlich die Breite und Länge der Bandspirale zur Stärke der in Anwendung gebrachten Batterie in gehörigem Verhältnisse steht, Stahlmagnete von zuvor kaum geahnter Tragkraft und von absolut gleicher Polstärke.

Fig. 438.



Das Magnetisirungsverfahren mittelst Elektromagneten oder elektromagnetischen Gewinden gewährt besonders den Vortheil, daß es die Verwendung sehr harten, den erlangten Magnetismus stark und lange festhaltenden Stahles gestattet, und Frick findet es für solchen Stahl vortheilhafter, die gleiche Stromstärke und Drahtmenge zur Erzeugung eines Elektromagnetes zu verwenden und dann mit diesem den Doppelstrich auf die zu magnetisirende Stahllamelle anzuwenden. Hamann in Paris magnetisirt zuerst den Stahl und härtet ihn hernach. Er läßt nämlich auf ihn, nachdem er zur Rothglut gebracht worden, einen elektrischen Strom (oder auch einen Magnet) einwirken und löscht, während dies geschieht, ihn in sonst gewöhnlicher

Weise ab. Dieses Verfahren, wobei man einen glasharten Magnet (übrigens auch leicht einen Magnet von jeder beliebigen Härte) erhält, soll sehr entsprechend sein.

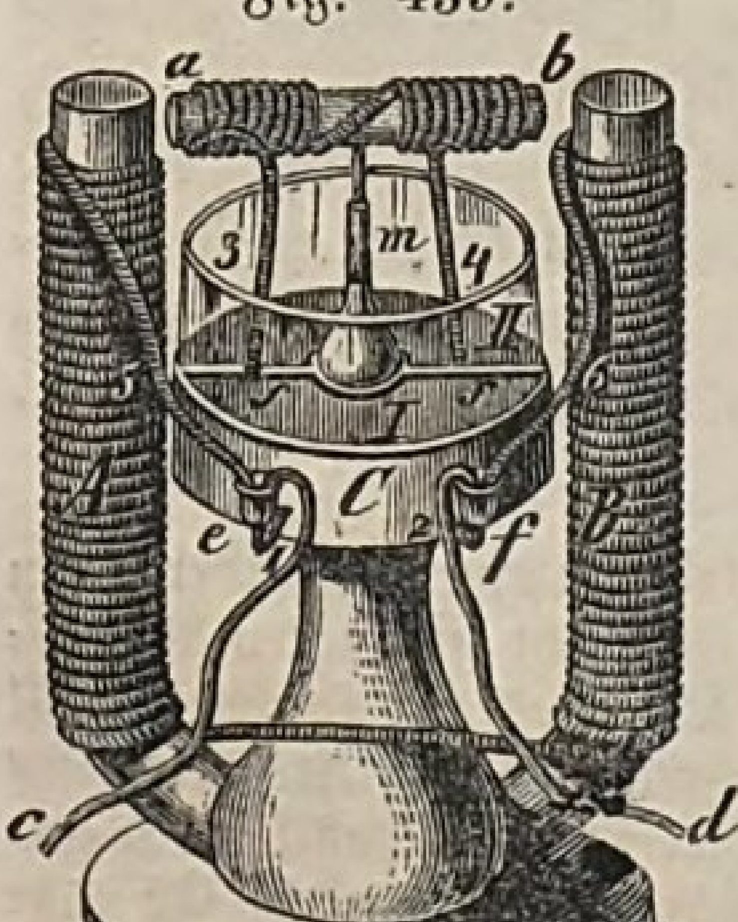
Um zusammengesetzte hufeisenförmige Stahllamellen als Ganzes zu magnetisiren, soll man, nach Sinnsteden, die Pole des betreffenden Stahllamellen-Bündels mit den Polen eines Elektromagneten in innige Berührung setzen, für den Fall, daß die letztgenannten Pole kleiner sind als die erstgenannten, zwischen je zwei in Berührung zu setzende Pole eine dicke Platte aus weichem Eisen von der Größe der Stahlbündelpole bringen und dann durch die Spirale des Elektromagnetes eine kräftige Volta'sche Batterie schließen. Nachdem die Kette einige Minuten geschlossen gewesen ist, während welcher Zeit man mit einem dicken Eisenstück auf beiden Seiten des hufeisenförmigen Stahllamellenbündels öfter vom Bogen gegen die Pole hin streichen soll, hat man die Kette zu öffnen, nachher wieder zu schließen und dies je nach der Größe der zu magnetisirenden Stahlmasse 3—10 Mal zu wiederholen, worauf diese Masse zur Sättigung magnetisirt ist und nun von den Polen des noch erregten Elektromagnetes durch Abwärtsbeugen und nachheriges Abziehen getrennt wird. Erst wenn die Pole des so erhaltenen Stahlmagnetes von jenen des Elektromagnetes 1—1½ Fuß entfernt sind, ist an den ersteren ein Anker vorzulegen.

Weber hat vorgeschlagen, die magnetische Anziehung kräftiger Elektromagnete gegen die Eisenbahnschienen zur Erzielung einer solchen Reibung zwischen diesen und den eisernen Rädern der Lokomotive anzuwenden, daß das Glitschen der letzteren auf den ersteren verhindert und das Befahren von Bahnstrecken bedeutenderer Steigung und größerer horizontaler Krümmung möglich wird, und glaubte diese Erfolge dadurch zu erreichen, daß er die betreffenden zu diesem Ende passend eingerichteten Räder durch den Volta'schen Strom so in Magnete verwandelt, daß ihre Peripherie eine stetige Folge von Hufeisenmagneten darstellt, deren Nord- und Südenden zusammengenommen zwei Kreise bilden, die einander parallel sind, und deren Mittelpunkte in der Radaxe liegen. Die Einrichtung der Räder selbst war folgende: Den Radkranz bildete ein Ring aus weichem Eisen, der, wie für einen Schnurlauf, mit einer tiefen Rinne und mit einer Einfassung von Holz oder Messing versehen war, durch welche noch zwei andere Rinnen zu beiden Seiten des eisernen Ringes gebildet waren. In diesen drei unter einander parallelen Rinnen befand sich umsponnener Kupferdraht so um das Rad herumgewunden, daß ein durch den Draht geleiteter Volta'scher Strom in der mittlern Rinne nach entgegengesetzter Richtung wie in den beiden äußeren um das Rad herumgeht. Die beiden Drahtenden waren zu zwei von einander isolirten Zapfen geführt, welche die Radaxe bildeten und mit den Polen einer Volta'schen Batterie leitend zu verbinden sind.

Amberger, Civilingenieur in Paris, nahm ein Patent auf Elektro-Bremsen, d. h. rechteckige, ein Segment eines Radreifes darstellende Stücke weichen Eisens, die mit Drahtgewinden umgeben und mittelst Hebeln an den Räderaxen so befestigt sind, daß sie für gewöhnlich nahe an den Schienen hingleiten, wenn aber der elektrische Strom die Drahtgewinde durchzieht, von den Schienen mit großer Kraft angezogen werden, so daß sie an ihnen haften zu bleiben suchen und nur mit großer Gewalt an ihnen hingleiten gemacht werden können.

238. Elektromagnetismus als bewegende Kraft. Der Umstand, daß ein Elektromagnet (gemäß (††) S. 488) augenblicklich seine Pole wechselt, sobald die Richtung des die Drahtspirale durchlaufenden Stromes umgekehrt wird (so daß an der Stelle des Nordpols der Südpol entsteht, wenn der Strom statt an dem einen an dem anderen Ende der Drahtspirale eintritt), führte zur Anwendung der Kraft, womit Elektromagnete auf einander oder auf Stahlmagnete einwirken, um rotirende Bewegungen hervorzubringen. Das durch Fig. 439 im Drittel der natürlichen Größe dargestellte, von Ritchie construirte Apparatchen ist recht geeignet, im Kleinen die Art und Weise zu verdeutlichen, in welcher solche Bewegungen zu Stande kommen. AB stellt einen fixen, hufeisenförmigen und ab einen um die vertikale Axe m leicht beweglichen, geraden Elektromagnet vor, welche beide durch den mittelst der Drähte c, d den Quecksilbernäpfchen e, f zugeleiteten Strom erzeugt werden, indem diese Näpfchen durch die sie tragenden Drähte 1, 2 mit dem Quecksilber im hölzernen Behälter C communiciren, und die herabhängenden Enden 3, 4 der Drahtspirale von ab in dieses

Fig. 439.



Quecksilber, die Enden 5, 6 der Windungen von **AB** aber in die Näpfchen tauchen. Der Behälter **C** ist durch eine in der Richtung von dem einen Schenkel des Hufeisens **AB** zum andern hingehende hölzerne Wand **s** in zwei nicht leitend verbundene Abtheilungen **I, II** geschieden, wovon die Abtheilung **I** durch den Draht 1 mit dem Näpfchen e, die andere **II** durch den Draht 2 mit dem Näpfchen f in Verbindung steht, und deren jede so mit wohlgereinigtem Quecksilber gefüllt ist, daß die convexen Oberflächen in beiden Abtheilungen zwar die Scheidewand überragen, aber längst dieser ganzen Wand doch noch von einander getrennt sind. Hat man nun dem Stabe **ab** eine solche Stellung gegeben, daß, während seine Enden nahe den Schenkeln **A, B** stehen, von den herabhängenden Drähten 3, 4 jeder in einer andern Abtheilung des Behälters **C** mit der Spitze zunächst der Scheidewand ganz wenig unter die Oberfläche des Quecksilbers taucht (der Draht 3 in der Abtheilung **I** und der Draht 4 in der Abtheilung **II**) und man schließt nachher eine einfache constante Kette mittelst der ebenfalls in die Näpfchen e, f tauchenden Drähte c, d, so werden die zwei Stäbe **AB** und **ab** gleichzeitig zu Elektromagneten (indem z. B. der positive Strom durch die Drahtenden 4 und 6 ein- und durch die Drahtenden 3 und 5 austritt). Gesetzt die Drahtwindungen beider Elektromagnete seien von der Art, daß die einander nahe stehenden Pole dieser Magnete ungleichnamig sind, sich also anziehen, so muß sich der Magnet **ab** so lange um die Axe m drehen, bis er in die gerade Richtung von einem der Schenkel **A, B** zum andern gekommen ist. Indem er aber diese Stellung erreicht, haben die Drähte 3, 4 eben die Scheidewand **s** (über welche sie gehen können, ohne daran zu streifen) passirt, es taucht statt des Drahtes 4 der Draht 3 in das Quecksilber der Abtheilung **II**, der Strom tritt also jetzt durch diesen Draht in die Windungen von **ab** ein, und hat sonach darin die im Vergleich mit vorher umgekehrte Richtung. Dem zu Folge gehen die Pole des Stabes **ab** in die entgegengesetzten über, werden dann von den nahen, unverändert gebliebenen Polen des Magnetes **AB** nicht mehr angezogen, sondern abgestoßen, und der Elektromagnet **ab** setzt daher seine bereits begonnene Bewegung fort, bis er wieder in die Vertikalebene der Schenkel **A, B** gekommen ist. Da bei Ankunft in dieser Stellung (und er wird in dieselbe nicht bloß durch die besagte Abstoßung, sondern auch durch die Anziehung gebracht, welche jeder seiner Pole von jenem freundschaftlichen Pole des Stabes **A, B** erfährt, gegen den ihn die Abstoßung treibt) die Drähte 3, 4 eben wieder die Scheidewand **s** passirt und die Abtheilungen von **C** gewechselt haben, mithin der Strom seine Richtung und der Magnet **ab** seine Pole abermals umgekehrt hat; so wird letzterer neuerdings durch Abstoßung zum weiteren Fortsetzen seiner Bewegung angetrieben, und er muß, da dies so fortgeht, continuirlich um die Axe m rotiren. Es versteht sich von selbst, daß ein Stahlmagnet an der Stelle des Elektromagnetes **AB** die nämlichen Dienste leistet.

Elektromagnetische Motoren. Bei Erwägung, — daß man es, dem Vorhergehenden zu Folge, durch Anwendung hinlänglich großer Eisenstäbe, entsprechende Vermehrung der Windungen eines gehörig dicken Drahtes und hinreichende Verstärkung der elektrischen Batterie ganz in der Macht habe, Elektromagnete von fast unbegrenzter Stärke zu erzeugen, und daß die bewegende Kraft, welche (wie das oben beschriebene Apparatchen von Ritchie zeigt) aus der gegenseitigen Einwirkung von Elektromagneten bei regelmäßig sich wiederholender Polwechslung resultirt, mit der Stärke und Anzahl dieser Elektromagnete zunehmen müsse, — scheint es möglich, durch entsprechende Combination fixer und beweglicher Elektromagnete Maschinen zu Stande zu bringen, die sich, so wie z. B. Dampfmaschinen, (ohne die Gefahr, welche mit diesen immer verbunden ist und mit noch manchen andern Vortheilen) als Motoren auf Eisenbahnen oder zum Betriebe anderer Maschinen anwenden lassen. Der erste, der eine solche Anwendung des Elektromagnetismus als bewegende Kraft im Großen in Anregung brachte, war Schultheß in Zürich;

der Tod hinderte ihn jedoch an der Ausführung. Diese versuchte in größerem Maßstabe zuerst (1838) Jacobi in Petersburg; er construirte eine Maschine, durch welche ein Boot mit 12 Personen auf der Newa nach und gegen den Strom und bald nachher unter Anwendung einer andern Batterie ein Boot mit 14 Personen und $2\frac{1}{4}$ engl. Meilen Geschwindigkeit, in Bewegung gesetzt wurde. Dieses Ergebniß, so wie die Resultate, welche durch Wagner in Frankfurt, Stöhrer in Leipzig, Davenport und Page in Amerika und Andere, die sich mit derselben Aufgabe beschäftigten, erzielt worden, berechtigten anfangs zu der besten Hoffnung einer ganz genügenden Lösung dieser Aufgabe. Allein die weitere Verfolgung des Gegenstandes stellte heraus, daß der durch einen solchen elektromagnetischen Motor erzielbare höchste Nutzeffekt mit dem dabei in der zugehörigen elektrischen Batterie unvermeidlich statt findenden Zinkverbrauche in einem ungünstigen Verhältnisse in Betreff der Kosten stehe, und daß mittelst Dampfmaschinen die nämlichen Betriebskräfte und Leistungen weit wohlfeiler erzielt werden können.

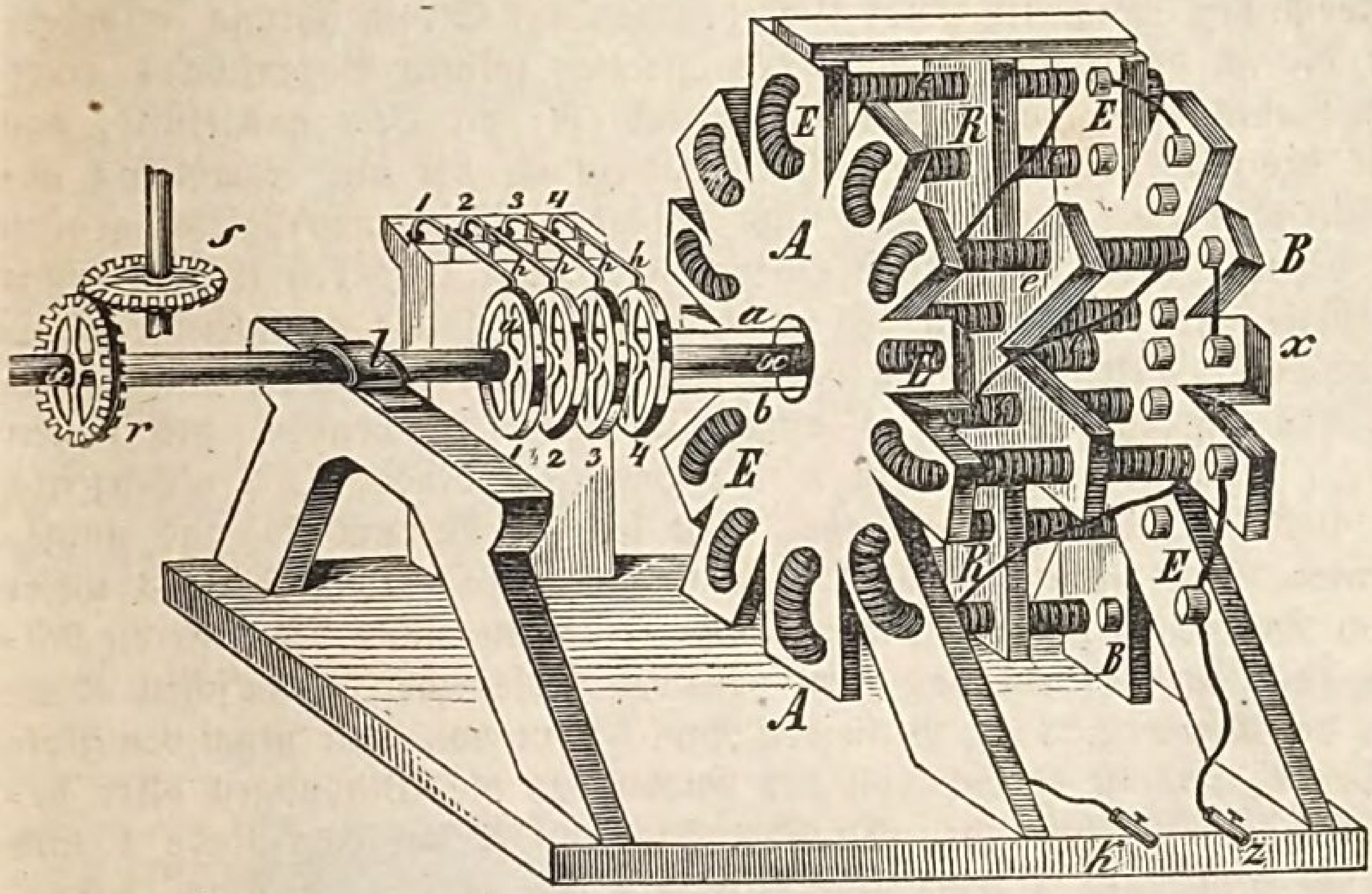
Nach einer in früherer Zeit von Grove angestellten Rechnung ist, um die Wirkung einer Pferdekraft 24 Stunden hindurch zu erhalten, bei seiner Platin-Zink-Batterie eine Zinkconsumtion von 45 Pfund und der Verbrauch von $50\frac{1}{2}$ Pfund Salpetersäure, mithin, das Pfund Zink zu 3 Pence und das Pfund Säure zu 6 Pence gerechnet, ein Aufwand von 1 Pfd. Sterling, 16 Schilling und 6 Pence erforderlich, während bei einer Dampfmaschine die Pferdekraft in 24 Stunden nur einige Schillinge kostet. Joule und Hunt geben den zu gleichem Zwecke erforderlichen Zinkverbrauch bei einer Grove'schen Batterie ebenfalls zu 45, bei einer Daniell'schen Batterie aber zu 75 Pfd. an; und nach Petrie beträgt er bei letztgenannter Batterie $67\frac{1}{2}$ Pfd.

Der Kostenpunkt allein war Grund genug, den Gedanken an die Einführung elektromagnetischer Motoren in die Praxis wieder aufzugeben oder wenigstens so lange aufzuschieben, bis es vielleicht in der Folge gelingt, durch Erfindung neuer oder durch entsprechende Vervollkommnung der bisherigen galvanischen Batterien das bezeichnete Hinderniß und durch weitere Fortschritte in der Wissenschaft überdies noch einige andere Uebelstände zu beseitigen, welche die Mitursache des angegebenen Mißverhältnisses zwischen Nutzeffekt und Zinkverbrauch bilden und bis jetzt gleichfalls noch nicht entfernt werden konnten... (†). Was nun den Kostenpunkt anbelangt, so ist zu dessen Besserstellung in neuester Zeit ein gewaltiger Schritt und zwar vorwärts gemacht worden durch die Anwendung der auf S. 485 bei Gelegenheit des elektrischen Lichtes besprochenen Batterien, in welchen Nebenprodukte gewonnen werden, die im Handel sehr gesucht sind, sich also gut verwerthen lassen, so daß sie die Unterhaltungskosten der Batterie wenigstens zum größten Theil decken sollen.

Obgleich nun die elektromagnetischen Motoren den gehofften Nutzen für die Gewerbe und die Industrie bis jetzt nicht gewähren, so bleibt es doch immer interessant und in Rücksicht auf die oben ausgesprochene Erwartung von der Zukunft sogar wichtig, das Wesen einer solchen Maschine kennen zu lernen, und es soll deswegen hier zuerst ein Repräsentant des früheren (jetzt bereits ganz aufgegebenen) Systems dieser Maschinen und dann eine erst in neuester Zeit wieder in Vorschlag und zur Ausführung gekommene andere Einrichtung beschrieben werden.

Früheres System. In Fig. 440 sind **A**, **B** zwei starke, unbeweglich feststehende Holzscheiben, deren jede eine Anzahl fixer, hufeisenförmiger Elektromagnete **E**, **E**.... mit durch die Scheiben hindurchgehenden und innerhalb derselben einander zugekehrten Polen enthält. **R** ist ein hölzernes Rad, welches um die in den Lagern **l**, **l** laufende Axe **x** (das Lager des rechten Endes der Axe ist in der Figur nicht sichtbar) möglich leicht beweglich ist, und ein System gerader Elektromagnete **e**, **e**.... trägt, die mit dieser Axe parallel und in zwei zu derselben concentrischen Reihen angeordnet sind, so daß beim Rotiren des Rades die Magnetpole der inneren Reihe an allen der Axe **x** näheren (inneren) Polen der Elektromagnete **E**, **E**...

Fig. 440.



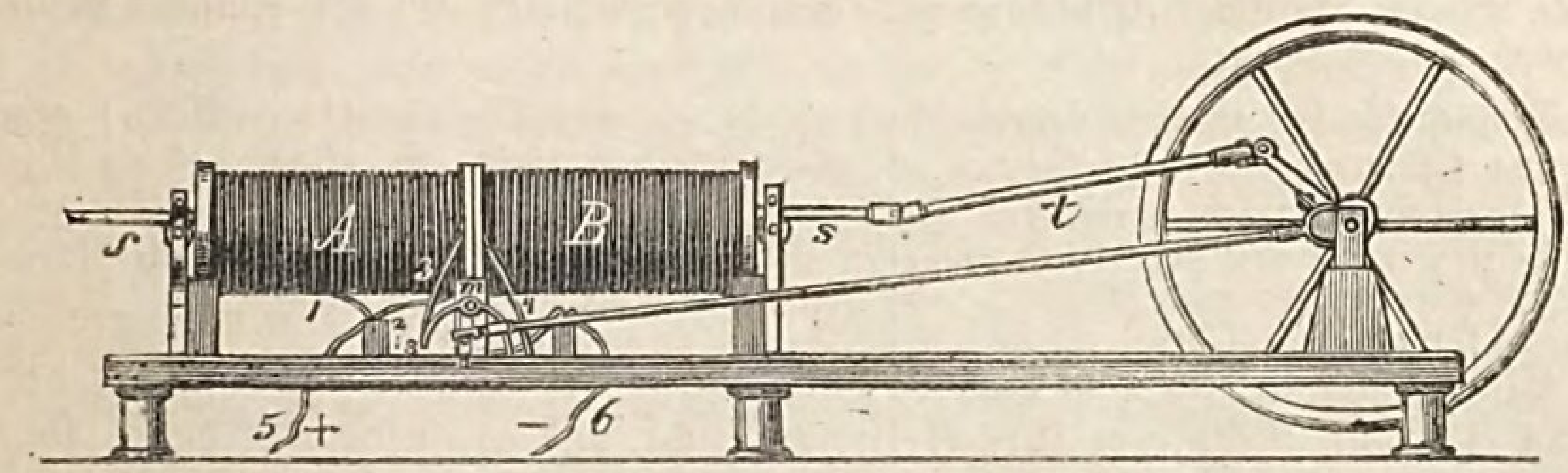
und alle Pole der äußeren Magnetreihe an allen ihnen gegenüberstehenden, von der besagten Axe abgewendeten (äußeren) Polen der Magnete **E, E**... ganz nahe vorüberziehen. Die Drahtwindungen auf den, dem fixen Magnetsysteme in **A, B** angehörigen Eisenstäben sind aus einem einzigen, von jedem solchen Eisenstabe immer auf den nächst folgenden und von dem letzten Stabe in **A** auf die Stäbe in **B** übergehenden Kupferdrahte gebildet, der mit den Schraubenklemmen **k** und **z** anfängt und endigt, und eben so bildet auch auf den Elektromagneten **e, e**... des beweglichen Systems die Windungen nur ein einziger von jedem der geraden Eisenstäbe auf den nächst folgenden übergehender Kupferdraht. Beide Drähte sind um die betreffenden Eisenstäbe nach solchen Richtungen herumgewunden, daß bei den, in einem und demselben Vertikalkreise nach einander folgenden Polen der bei Durchleitung eines Volta'schen Stromes durch die Drähte entstehenden Magnete immer Nord- und Südpole regelmäßig abwechseln, und daß bei jenen Stellungen des beweglichen Magnetsystems, wo jeder Elektromagnet desselben gerade zwischen zwei den fixen Systemen angehörigen (einander horizontal gegenüber liegenden) Polen steht, alle einander zugewendeten (fast bis zur Berührung nahen) Pole gleichnamig sind. Es wird dann jeder der geraden Magnete von den besagten zwei fixen Polen, zwischen denen er sich befindet, abgestoßen, und bewegt sich zu Folge dessen und der von den nächsten zwei, den seinen entgegengesetzten Polen der fixen Systeme ausgehenden Anziehungskraft gegen diese zwei Pole hin. Findet im Momente des Ankommens daselbst die Umkehrung der Stromrichtung und somit auch der Polaritäten in dem beweglichen Magnetsysteme Statt, so wird jeder Magnet desselben durch abermalige Abstoßung zur Fortsetzung seiner Bewegung gegen das nächste fixe Polpaar angetrieben, und dabei die besagte Abstoßung wieder durch die von diesem Paare ausgehende Anziehung unterstützt, so daß das bewegliche Magnetsystem um die Axe **x** in Rotation versetzt und erhalten wird, wenn die besagte Umkehrung der Stromrichtung regelmäßig bei jedesmaligem Anlangen der Magnete **e, e**.... gerade zwischen Polen der Magnete **E, E**.... vor sich geht, während die Stromrichtung in den zwei fixen Systemen stets unverändert bleibt. Dieses regelmäßige Umkehren der Richtung des Stromes wird aber durch eine eigene, den Namen Commutator führende Vorrichtung bewirkt, welche hier (nach Jacobi's Angabe) aus vier messingenen Scheiben oder Rädern **1, 2, 3, 4** besteht, die so auf der Rotationsaxe feststecken, daß jedes mittelst Holz oder Bein von dieser Axe und auch das Paar **1, 2** von dem Paare **3, 4** völlig isolirt ist, jedoch das Rad **1** mit dem Rade **2** und das Rad **3** mit dem Rade **4** (etwa durch eine gemeinschaftliche metallene Nabe bei jedem Paare) leitend verbunden ist. An jedem dieser Räder ist der

Umfang in so viele gleiche Bogenstücke getheilt, als während eines ganzen Umlaufs des beweglichen Magnetsystemes Umkehrungen der Stromrichtung erfordert werden, und die an der Stelle immer jedes zweiten solchen Bogenstückes eines und desselben Rades angebrachten Ausschnitte sind so mit Bein ausgefüllt, daß die Peripherie des Rades ein ununterbrochener Kreis ist, der aus regelmäßig abwechselnden leitenden (metallenen) und nicht leitenden (beinernen) gleich großen Bogenstücken besteht. Diese Bogenstücke, wovon die nicht leitenden in der Figur schwarz dargestellt sind, haben an den 4 Rädern eine solche gegenseitige Stellung, daß von den einerseits auf den Peripherien der Räder gleitenden und andererseits in den Näpfen 1, 2, 3, 4 unter Quecksilber tauchenden, metallenen Hebeln h, h... beim Rotiren der Axe x die Hebel der Räder 1, 3 gleichzeitig leitende, die Hebel der Räder 2, 4 aber nicht leitende Bogenstücke und umgekehrt durchlaufen. Sind nun die Näpfe 1, 4 und eben so die Näpfe 2, 3 unter einander durch Drähte leitend vereinigt, taucht ferner in einen der ersteren Näpfe (z. B. in den Napf 4) ein von dem positiven Pole einer Volta'schen Kette und in einen der Näpfe 2, 3 (z. B. in den Napf 3) ein von dem negativen Pole kommender Draht, und ist endlich von den Enden des die Windungen aller beweglichen Elektromagnete bildenden Drahtes das eine a an dem Rade 1 und das zweite b an dem Rade 4 festgelöthet; so geht bei der in der Figur dargestellten Position der vier Räder der (positive) Strom aus dem Napf 4 durch den in denselben tauchenden Hebel in das Rad 4, gelangt von da durch das Drahtende b in die Windungen, aus diesen durch das Ende a, durch die Räder 1, 2 und den Hebel des letzteren Rades in den Napf 2 und endlich aus diesem durch den diesen Napf mit dem Napfe 3 verbindenden Draht zum negativen Pol der Kette. In dem Augenblicke aber, wo zu Folge fortschreitender Rotirung der Räder die betreffenden Hebel auf die nächsten (mit Sternen bezeichneten) Bogenstücke übergehen, nimmt der Strom die zur vorigen gerade umgekehrte Richtung, nämlich aus dem Napf 4 durch den diesen Napf mit dem Napfe 1 verbindenden Draht in den Napf 1, von hier durch das Rad 1, das Drahtende a in die Windungen, aus diesen durch das Drahtende b, die Räder 4 und 3, den Hebel des letzteren Rades und den Napf 3 zum negativen Pol der Kette. Beim Uebertritte der Hebel wieder auf die nächst folgenden Bogenstücke bekömmt der Strom seine vorige Richtung wieder u. s. w. Bei einem solchen, im physikalischen Kabinete des hiesigen k. k. polytechnischen Institutes vorhandenen Motor mit 12 beweglichen Magneten von 17″ Länge und 1″ Durchmesser reichen zwei Grove'sche Elemente zur Erzeugung der Elektromagnete der fixen Systeme und zwei eben solche Elemente für das bewegliche Magnetsystem hin, das letztere ununterbrochen in raschem Rotiren zu erhalten. Daß sich diese Bewegung mittelst Winkelräder r, s oder durch sonstige passende Mittel leicht auf andere Maschinen übertragen ließe, bedarf kaum einer Erwähnung.

Page's neuester Motor. Bei dem durch die eben beschriebene Maschine repräsentirten Systeme der rotirenden Motoren kann die bewegende Kraft (die magnetische Anziehung und Abstoßung) gerade in den Momenten ihrer stärksten Aeußerung, wenn nämlich die sich anziehenden oder abstoßenden Magnetpole einander genau gegenüber stehen, nicht benützt werden. Dieser Kraftverlust und überdies vorzüglich der Umstand, daß größeren Eisenmassen eine beträchtliche, mit ihrer Größe wachsende Trägheit beim Wechseln der Pole zukommt, indem sie immer einige Zeit brauchen, bis sie den Magnetismus der Spiralen aufnehmen und nach Oeffnung der Kette wieder verlieren, sind sicherlich eine Hauptursache, warum die Kraft, welche die in Rede stehenden Motoren während des Rotirens der betreffenden Elektromagnete geben, im Vergleiche mit jener Kraft, welche die Elektromagnete im Ruhezustande auf einander üben, so gering ist. Die Erwägung insbesondere dieses

letzterwähnten, aber auch noch manches anderen Uebelstandes, die den bis dahin erdachten elektromagnetischen Motoren entgegenstanden, führte Page in Nordamerika in neuester Zeit zur Construction eines Motors, bei dem die Kraft, womit ein Eisenkern in elektromagnetische Spiralen hineingezogen wird, und welche, was in praktischer Beziehung von großer Wichtigkeit ist, (nach Hankel) dem Quadrate der Intensität des durch die Spiralen gehenden Stromes proportional ist, die Bewegung erzeugt und der Eisenkern nie die Polarität zu wechseln hat. Das Hineingezogen werden des Eisenkernes in die Spiralen ist natürlich die Folge der durch den Strom bewirkten Verwandlung dieses Kernes in einen Magnet und der dann stattfindenden Ablenkung (Bewegung) dieses letzteren durch den nämlichen Strom nach der Ampère'schen Regel (S. 444). Ein Modell, welches von Fessel, Lehrer der Gewerbeschule und Mechaniker in Köln, nach dem Principe des Page'schen Motors construirt worden und in Fig. 441 abgebildet ist, kann, wenn man einige

Fig. 441.



wenige Zusätze, die der Erklärung der Figur folgen, mit zu Hilfe nimmt, eine gute Vorstellung von dem Wesen dieses Motors geben. **A, B** sind zwei horizontal liegende, an einander stoßende, hohle Drahtspiralen, durch welche der Strom immer in der nämlichen Richtung, aber durch Wirkung eines passenden Commutators, abwechselnd immer nur durch eine derselben geleitet wird. Im Inneren der Spiralen befindet sich ein Eisenkern, der, indem er abwechselnd in die eine und in die andere Spirale hineingezogen wird und dabei immer dieselbe Polarität behält, sich hin und her bewegt. An den beiden Enden des Eisenkernes sind zwei dünnere Messingstangen **C, D** befestigt, die, auf zwei fixen Rollen aufliegend, den Eisenkern tragen und in **A, B** frei schwebend erhalten. Die eine dieser Stangen setzt ein Schwungrad in Bewegung. Der Commutator wird, so wie das Schiebventil bei einer Dampfmaschine (man sehe diese in der Wärmelehre), durch eine excentrische Scheibe und die damit vereinigte Leitstange **t** wirksam gemacht, und zwar dadurch, daß, während die Anfangsdrahtstücke **1, 2** der in dem nämlichen Sinne gewundenen zwei Magnetisirungsspiralen beständig mit dem einen Pol der den Strom liefernden Batterie vereinigt bleiben, die Enddrahtstücke 3, 4 dieser Spiralen abwechselnd mit dem zweiten Batteriepole dadurch in leitende Verbindung gesetzt werden, daß der mit diesem zweiten Pole leitend vereinigte metallene Hebel **mo** durch die Leitstange **t** mit seinem Bogen **m** abwechselnd einmal mit dem federnden Ende des Drahtes 3, das andere Mal mit jenem des Drahtes 4 in Berührung gebracht wird. Schon bei Anwendung von zwei kleinen Grove'schen Elementen bewegt sich das Modell mit großer Geschwindigkeit.

Bei der Maschine des Professors Page ist eine größere Anzahl horizontal an einander stoßender Spiralen vorhanden, der in ihrem Inneren frei hin und her bewegliche Eisenkern hat eine bedeutende Masse und ist nahe halb so lang wie die Reihe der an einander stoßenden Spiralen. Mittelst einer eigenen, durch den sich bewegenden Eisenkern selbst in Thätigkeit gesetzten Steuerungsvorrichtung wird in der Richtung der Bewegung des Eisenkernes vor demselben immer eine Spirale nach der

andern in die Kette eingeschlossen und hinter dem Kerne eine Spirale nach der andern aus der Kette ausgeschieden, und ist der Gang des Eisenkernes (der Kolbenhub) nach der einen Seite hin zu Ende, so geht die Wirkung der Steuerungsvorrichtung von der eben noch in Thätigkeit gewesenen Hälfte der Spiralen auf die andere Hälfte über, so daß zuerst die drei mittleren Spiralen, und so fort die folgenden, eine nach der andern, in die Kette eintreten, während der Eisenkern (der Kolben) in zur vorigen entgegengesetzter Richtung sich bewegt. (Es sind überhaupt stets drei Spiralen auf einmal in der Kette.) Daß diese Einrichtung einen Hub von beliebiger Länge und ebenso eine Kolbenbewegung in vertikaler und kreisförmiger Linie gestattet, erhellet von selbst.

Näheres über den Mechanismus des neuen Motors enthält Dingler's polyt. Journ. 1. Aprilheft 1852, S. 18. Page soll mit demselben eine Kreissäge von 10″ Durchmesser, eine Drehbank und einen Schleifstein mit blos 10 Cents Unkosten pr. Pferdekraft und Tag (24 Stunden) in Bewegung gesetzt haben, und mit einer nach demselben Principe construirten Lokomotive, welche 207½ Centner Gewicht, Treibräder von 5′ Durchmesser und einen Hub von 2′ hatte, auf der Baltimore-Eisenbahn mit einer Geschwindigkeit von 3·4 deutschen Meilen in der Stunde gefahren sein.

Wichtig für das in Rede stehende Princip ist die von Marianini (Sohn) gemachte Erfahrung (Dingler's polyt. Journ., 2. Septemberheft 1852, S. 465), daß die Wirkung einer Magnetisirungsspirale bedeutend verstärkt ist, wenn sie in einem hohlen Eisencylinder steckt; sie zieht dann viel größere Eisenmassen und mit weit stärkerer Kraft in sich hinein.

Regulator fürs elektrische Licht. Auf dem Hineingezogenwerden eines Eisenkernes in eine vom Strome durchzogene Drahtspirale beruht auch der auf S. 484 erwähnte Regulator fürs elektrische Licht, und es ist hier der passendste Ort, die auf besagter Seite versprochene nachträgliche Beschreibung der Einrichtung und Wirkung dieses Apparates zu geben. Man sieht denselben in der Einrichtung, die unter allen bisher bekannt gewordenen die einfachste und bequemste ist und von Archereau in Paris erdacht wurde, in Fig. 442 abgebildet. **AB** und **CD** sind zwei vertikale in dem horizontalen Brete **E** eingeschraubte Messingsäulen, die oben durch das mittelst der Schrauben 1,2 festgemachte, ebenfalls messingene Querstück **BD** leitend vereinigt sind. Durch die Mitte des Querstückes **BD** geht ein cylindrischer Messingstab so durch, daß er sich in diesem Stücke mit Reibung auf und ab verschieben und demnach in beliebiger Höhe feststellen, überdies aber auch in horizontaler Richtung nach allen Seiten hin etwas verrücken und nachher wieder fixiren läßt... (1). Letzteres wird durch eine Vorrichtung möglich, die in Fig. 443, einen vergrößerten vertikalen Durchschnitt des mittleren Theils des Querstückes **BD** und des Stabes **a** darstellend, anschaulich gemacht ist. **ce** ist

Fig. 442.

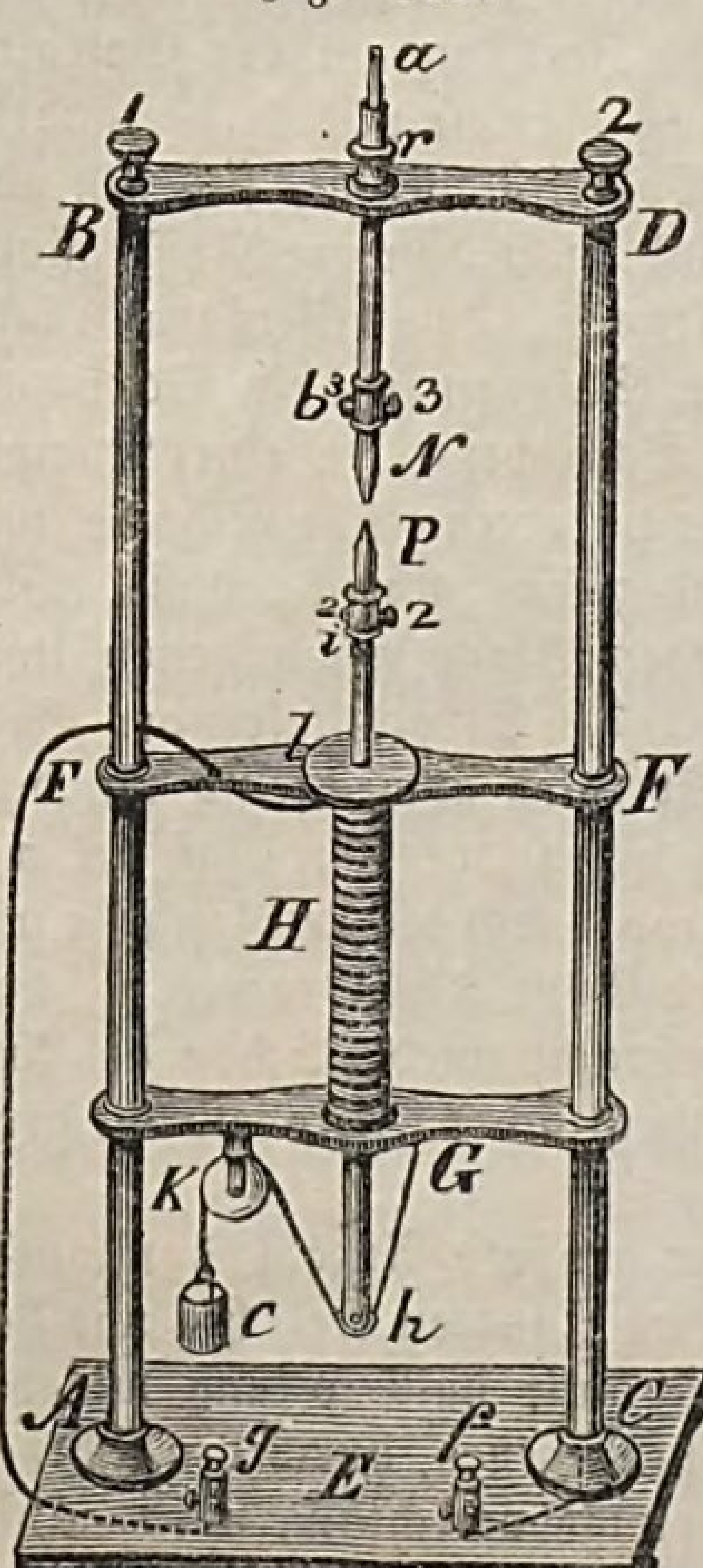
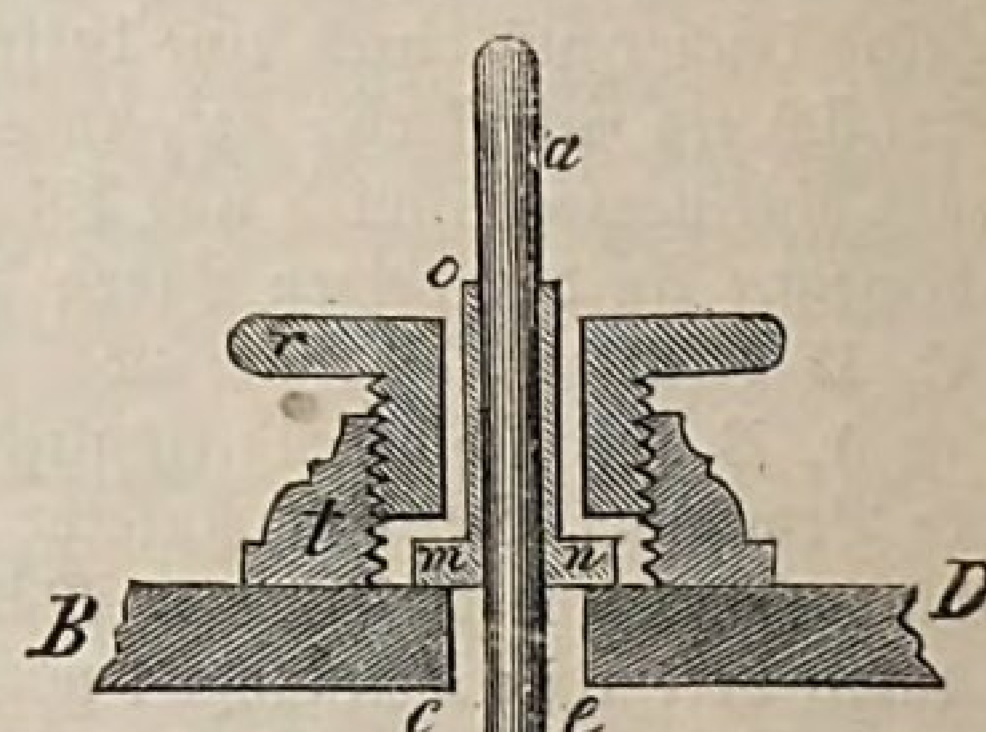


Fig. 443.



ein rundes Loch in **BD** von größerem Durchmesser als jener des Stabes **a**; mn ist eine runde Scheibe mit einer an ihr festgemachten Röhre **o**, durch welche der Stab **a** mit Reibung hindurch geht; **r** ist ein Schraubenkopf, durch dessen Mitte ein rundes Loch hinabgeht, das einen größeren Durchmesser hat als die den Stab **a** einschließende Röhre **o**, und dieser Schraubenkopf läßt sich in die an **BD** unverrückbar befestigte Mutter **t** einschrauben, so daß er die Scheibe mn in jeder Lage, die man ihr durch Verrückung nach irgend einer horizontalen Richtung hin in der Mutter **t** gegeben hat, an den Boden dieser Mutter fest andrückt und so den Stab **a** in der Position feststellt, die er durch die besagte Verrückung der Scheibe mn erhalten hat... (2). In einer am untern Ende von **a** angeschraubten Büchse b ist jene der zwei den elektrischen Lichtbogen zwischen sich zeigenden, gewöhnlich prismatischen Kohlenstangen mittelst der Klemmschrauben 3, 3 festgemacht, welche die negative Stromelektrode zu bilden hat, zu welchem Ende die Säule **CD** vermittelst eines durch das Bret **E** gehenden Kupferdrahtstückes mit der Schraubenklemme f vereinigt ist und diese den negativen Polardraht der Batterie aufzunehmen hat, indem dann die Säule **CD** und das Querstück **BD**, mit seinen durchgehends aus Messing bestehenden Theilen in der Mitte, die Kohle **N** selbst mit dem besagten negativen Polardraht leitend verbindet. **H** ist eine messingene Spule (eine vertikale Röhre mit einer ihr concentrischen, kreisrunden, in der Verlängerung der Höhlung der Röhre ebenfalls durchlöcherten Scheibe an jedem Ende), die zwischen den zwei hölzernen Querstücken **F**, **G** feststeht, und an welcher die Röhre mit einer Spirale, aus 1''' dickem, mit Seide umsponnenem und in ein Paar Lagen übereinander aufgewickeltem Kupferdrahte bestehend, umgeben ist. Der Draht ist von links nach rechts gewickelt, mit dem einen Ende an der Spule festgelöthet, und mit dem zweiten in der Schraubenklemme g eingespannt, welche beim Gebrauch des Regulators mit dem positiven Pol der Batterie in leitende Verbindung gesetzt wird... (3). Durch die Röhre der Spule geht ein Stab **hi**, der die Höhlung so weit ausfüllt, daß er darin gerade noch leicht auf und ab beweglich ist, und ungefähr $1/5$ seiner Länge vom obern Ende eine messingene Scheibe l festgemacht hat, die, indem sie auf **F** aufliegt, das Durchfallen des Stabes **hi** durch die Spule verhindert. Dieser Stab besteht in der Mitte aus ganz weichem Eisen, übrigens aus Messing, und der eiserne Theil ist so lang und so angebracht, daß derselbe, wenn die Scheibe l auf dem Holzstücke **F** aufliegt, gerade die ganze Länge der Spulenröhre einnimmt. Da der Stab **hi** am obern Ende in einer der Büchse b gleichen Büchse mittelst der Schrauben 2, 2 die zweite der vorbesagten Kohlenstangen eingespannt enthält, so ist, wenn die Schraubenklemme g mit dem + Pol der Batterie leitend verbunden wird, auch diese zweite Kohlenstange **P** mit dem + Pol in leitender Verbindung und bildet daher, nach Schließung der Kette, während zwischen den beiden Kohlenstangen, nachdem sie bis zur gegenseitigen Berührung einander genähert und nachher wieder von einander entsprechend entfernt worden sind, der Lichtbogen übergeht, die positive Elektrode des Stromes... (4). Das ebenbesagte Annähern und Entfernen der Kohlen und zwar stets in dem der jedesmaligen Stromstärke entsprechenden Maße, geschieht in folgender Weise. Am untern Ende des Stabes **hi** befindet sich eine Rolle h, um die eine Schnur geht, welche mit dem einen Ende an dem hölzernen Querstücke **G** befestigt ist, dann über eine andere an demselben Querstücke festgemachte Rolle **k** geht, und am zweiten Ende einen Becher **C** trägt. Wird nun der Becher mit eingelegten Schroten oder dgl. gehörig belastet, so daß sich der Stab **hi** gerade bis zur Berührung der einander zugewendeten Enden der Kohlenstangen **N**, **P** erhebt und dann durch den belasteten Becher nahe equilibrirt wird, so ist der Stromkreis der mit den Schraubenklemmen f, g in Verbindung gesetzten Batterie geschlossen, und das eiserne Stück des Stabes **hi** durch die Magnetisirungsspirale **H** in einen Magnet verwandelt, und zwar gemäß (3) so, daß es am obern, aus der Spirale etwas hervorstehenden Ende einen Nord- und am untern,

in der Spirale etwas emporgehobenen Ende einen Südpol besitzt. Es wird nach (††) S. 483 und (135) S. 444 das Eisenstück des Stabes hi in die Spirale von oben nach unten hineingezogen, mithin die Kohle P von der Kohle N entfernt, und der elektrische Lichtbogen erscheint. Diese Entfernung geht natürlich immer nur bis zu einer bestimmten Grenze, die von der Stromstärke abhängt, mit ihr wächst und abnimmt und nicht überschritten werden kann, ohne daß der Strom geschwächt oder gar unterbrochen wird. Verbrennen nun während der Andauer des Lichtbogens die Kohlen allmälig, was, wie wir von S. 485 her wissen, vorzüglich bei der die positive Elektrode bildenden Kohle P der Fall ist (4), so wächst die Entfernung der einander zugewendeten Enden beider Kohlen, hiedurch wird der Strom und aber auch die Kraft, womit die Spirale H das Eisenstück des Stabes hi, also auch diesen Stab selbst abwärts zieht, schwächer, diese Kraft (K) kann nun dem Gegenzuge des belasteten Bechers nicht mehr das Gleichgewicht halten, sondern dieser gewinnt ein Uebergewicht und dadurch wird immer wieder um eben so viel der Stab hi gehoben und das obere Ende der Kohle P dem untern der Kohle N genähert, als diese Enden durch das besagte Verbrennen von einander entfernt wurden. Der Strom und also auch die Kraft K erlangen ihre vorige Stärke, die Kraft K tritt mit dem Becher C bei dem nämlichen gegenseitigen Abstande, den die Kohlenenden vorher hatten, wieder in's Gleichgewicht, und es wird so der elektrische Lichtbogen fast continuirlich bei constanter Intensität erhalten. Daß die oben unter (1) und (2) beschriebenen Vorrichtungen dazu dienen, um die Kohlenstangen P, N immer senkrecht und genau übereinander in den Apparat leicht einsetzen und während des ganzen Versuchs in diesen Positionen erhalten zu können (was zum guten Erfolg nöthig ist), sieht man von selbst ein.

Wir nehmen hier Gelegenheit noch ein Paar Commutatoren zu beschreiben, die ein rasches Umkehren oder Wechseln der Stromrichtung gestatten und sehr einfach sind. Der eine wird durch Fig. 444 dargestellt und besteht aus einem Bretchen mit Vertiefungen 1, 2, 3, 4, die Quecksilber enthalten. In den Vertiefungen 1 und 3 haben die zwei parallelen (durch einen Nichtleiter vereinigten), dicken Kupferdrähte a, d und die zwei sich kreuzenden, im Kreuzungspunkte sich aber nicht berührenden dicken Kupferdrähte b, c ihre Drehpunkte. Die andern Enden aller dieser Drähte sind unter rechten Winkeln abwärtsgebogen, so daß sie in das Quecksilber der Vertiefungen 2 und 4 eintauchen können. Führt man nun in die Vertiefung 1 einen z. B. vom + Pole einer Stromquelle und in die Vertiefung 3 einen vom — Pole kommenden Draht ein, und dreht die Krummzapfen-Welle mn, so werden mittelst der nicht leitenden Verbindungsstängelchen s, s, t aus dem Quecksilber in 2 und 4 abwechselnd einmal die Drähte a, d und das andere Mal die Drähte b, c ausgehoben. Im ersteren Falle geht der positive Strom durch die Drähte c und v, der negative aber durch b und w weiter, und im letzteren Falle muß der positive Strom seinen Weg durch die Drähte a und w und der negative durch d und v nehmen, so daß jeder Strom seine Richtung gewechselt hat. Von ganz gleicher Einrichtung und Wirkung ist die zweite Abtheilung B des Apparates, so daß das Ganze einen Doppelcommutator vorstellt, der unter andern auch dazu dienen kann, um den Strom einer und derselben Stromquelle abwechselnd zwei verschiedenen Bestimmungsorten, etwa zwei verschiedenen Magnetisirungsspiralen, wie an dem oben beschriebenen Fessel'schen Motor, zuzuführen. Verbindet man leitend z. B. den Quecksilbernapf 3 mit dem + Pol und den Quecksilbernapf 7 mit dem — Pol der Stromquelle, ferner die Drahtenden der einen Magnetisirungsspirale (I) mit den Quecksilbernäpfen 2 und 6, die Drahtenden der andern Spirale (II) aber mit den Näpfen 4 und 5, so wird der Strom, wenn die in die Näpfe versenkbaren und daraus emporhebbaren Commutatordrähte die in der Figur dargestellte Position haben, der Spirale I zugeführt, geht hingegen zur Spirale II, wenn die Commutatordrähte a, d und eben so die zwei andern ihnen parallelen in die Näpfe 2, 4, 5, 6 unter Quecksilber tauchend gemacht werden. Ein zweiter guter und einfacher Commutator ist der von Dujardin erdachte, den die Fig. 445 versinnlicht. AB ist ein Bretchen, worauf 5 recht blanke Kupferstreifen CD, EF, GH, JK und LM befestigt sind;

Fig. 444.

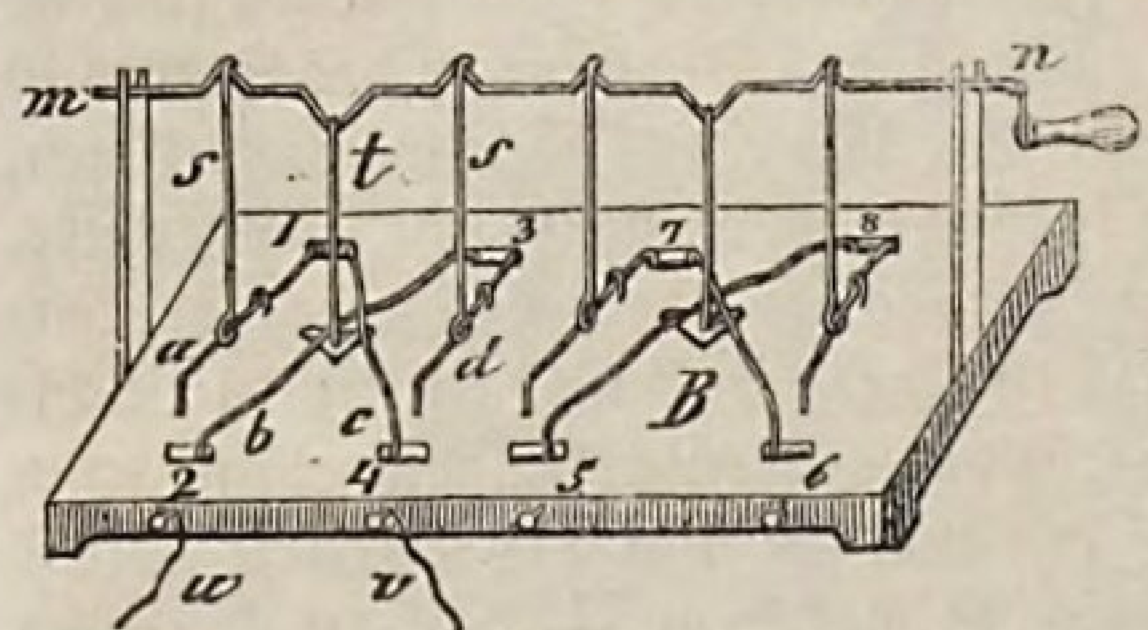
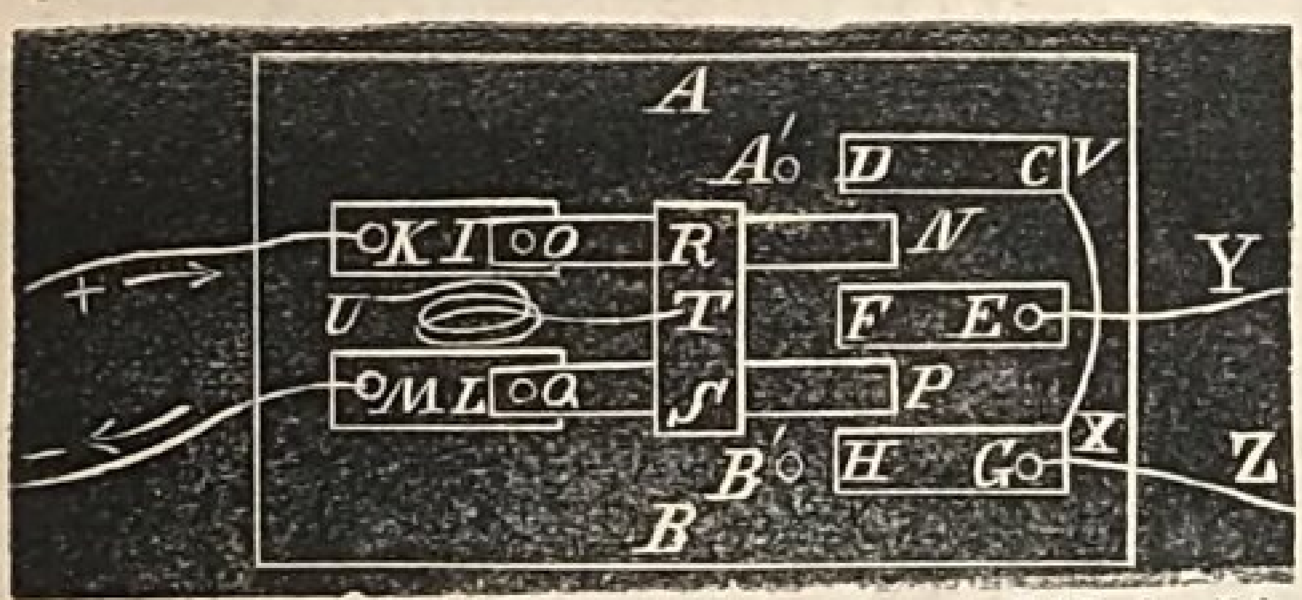


Fig. 445.



(CD und GH stehen durch einen angelötheten Kupferdraht VX in Verbindung und die beiden Streifen JK und LM enthalten Löcher K, M, in welche die Polardrähte der Stromquelle gesteckt und darin mittelst Holz- oder Metallpfropfen festgeklemmt werden. Ebenso sind die Drähte Y, Z, die den Strom an den Ort seiner Bestimmung hinzuleiten haben, in den Löchern E, G der Streifen EF und GH befestigt. NO und PQ sind zwei Kupferstreifen, die in O und Q durch Stifte mit den Kupferplatten JK und LM drehbar vereinigt sind. Ein Holzriegel RS, an welchem diese Streifen mittelst locker angezogener Schrauben befestigt sind, erhält sie einander parallel. Die Commutation geschieht nun dadurch, daß man die Streifen NO und PQ mittelst des Holzriegels RS verschiebt. Je nachdem man sie so über die Plättchen EF und GH oder über die Plättchen DC und EF und mit ihnen in Berührung bringt, geht der Strom in einer oder in der entgegengesetzten Richtung durch die Drähte Y, Z. Um dieses Verschieben und in Berührung bringen um so leichter bewerkstelligen zu können, sind die Plättchen DC, EF und GH ins Bret AB, mit dessen Fläche eben, eingelassen und die Holzpflöckchen A^1, B^1 verhindern die zu weite Verschiebung von NO und PQ. Die Feder TU drückt auf den Riegel RS, um die übereinander geschobenen Plättchen in gehörige Berührung zu bringen. Mit Commutator gleichbedeutend ist der Name Gyrotrop oder Rheotrop.

239. Elektromagnetische Telegraphie. Die wichtigste Anwendung fand der Elektromagnetismus in der Telegraphie, indem die ungeheuere Geschwindigkeit des elektrischen Stromes (**207**) und die Eigenschaften desselben, Magnetnadeln oder andere leichtbewegliche Magnete aus ihrer Gleichgewichtslage abzulenken und weiches Eisen magnetisch zu machen, wie allgemein bekannt, mit dem glänzendsten Erfolge zum Telegraphiren (Geben verständlicher Zeichen in weite Fernen) benützt werden. Die elektromagnetischen Telegraphen gewähren in Bezug auf Schnelligkeit, Sicherheit und Bequemlichkeit der Mittheilungen u. s. w. sehr bedeutende Vortheile; ihr größter Werth liegt aber in ihrer Unabhängigkeit von allen Witterungshindernissen (Regen, Schnee, Nebel 2c.), welche den Gebrauch der sonst ausschließlich in Anwendung gewesenen optischen Telegraphen so oft und nicht selten auf längere Zeit unmöglich machen. Ohne hier in eine Betrachtung aller, seit Entdeckung der elektromagnetischen Telegraphie durch Gauß und Schilling von Canstadt zur Ausführung oder in Vorschlag gebrachten elektromagnetischen Telegraphen eingehen zu können, wollen wir nur die zwei Hauptsysteme derselben (nämlich jenes, wobei die Zeichen durch Ablenkungen leicht beweglicher Stahlmagnete gegeben werden und das, an welchem die Seele des Signalisirungs-Apparates ein Elektromagnet bildet) an einzelnen Repräsentanten erläutern, und als solche für ersteres System den Bain'schen, für letzteres aber den Morse-Robinson'schen Telegraphen wählen, da ersterer auf den telegraphischen Linien des österreichischen Staates anfangs ausschließend in Anwendung war und streckenweise vorzüglich aber auf den Eisenbahnlinien für die Zwecke des Bahnbetriebes immer noch im Gebrauche steht, und letzterer schon jetzt der am meisten verbreitete ist, und sich gewiß immer mehr geltend machen wird.

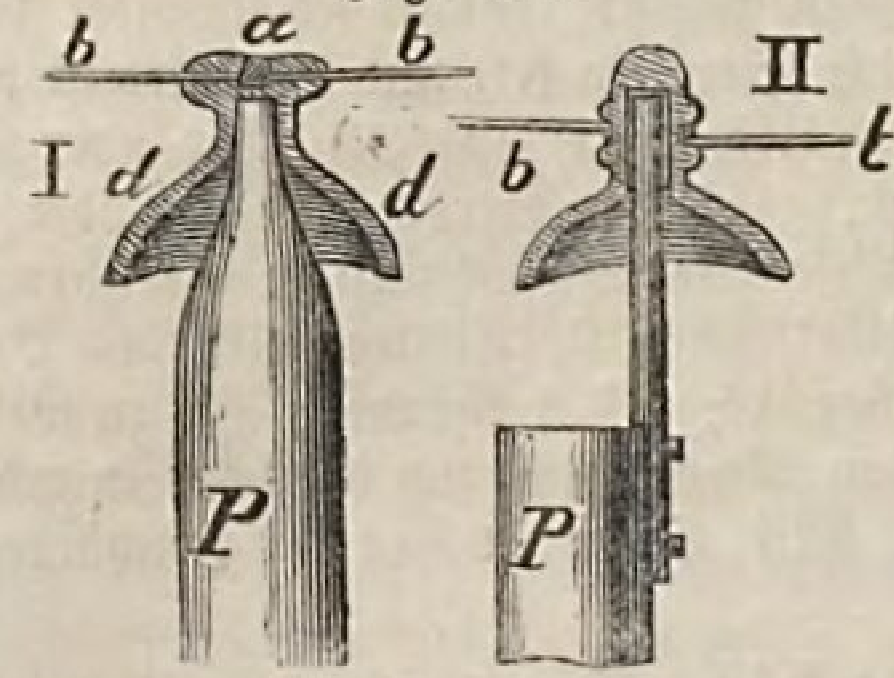
Jeder elektromagnetische Telegraph besteht aus zwei Haupttheilen, wovon der eine Alles enthält, was die Erzeugung des galvanischen Stromes und seine Fortleitung von einer Station zur nächsten anbelangt und der Kürze halber Leitungsapparat heißen soll, der andere aber zur eigentlichen Hervorbringung der telegraphischen Zeichen dient und Signal- oder Zeichenapparat genannt wird.

Leitungsapparat. Derselbe ist der Wesenheit nach bei allen elektromagnetischen Telegraphen immer der nämliche und besteht aus einer entsprechend starken, constanten Batterie auf jeder Station, von welcher aus Signale weiter gegeben werden sollen, und aus zwei hinreichend dicken und isolirten (Kupfer-

oder galvanisirten, d. i. verzinkten Eisen=) Drähten, deren einer den Strom von der Station, welche die Signale gibt, zur Station, die sie empfängt, und der andere zur ersteren wieder zurückführt *), und die beide entweder frei in der Luft (etwa 10—15 Fuß über dem Erdboden an in Distanzen von 20—30 Klafter aufgerichteten hölzernen Pfählen von Pfahl zu Pfahl) oder unter der Erde fortgeleitet sind.

Im ersteren Falle sind sie von den Pfählen isolirt, vermittelst an den obern Enden derselben festgemachter ringartiger Porzellanstücke, durch die sie hingeführt sind, oder am zweckmäßigsten vermittelst Glocken aus Porzellan in der durch die Fig. 446 bei I anschaulich gemachten Weise. P ist der Pfahl, der auf dem zu einem etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll dicken und 6—8 Zoll langen Zapfen zugespitzten obern Ende die besagte Glocke aufgekittet trägt, die im Kopfe einen Einschnitt a enthält, in welchem der Leitungsdraht b, b liegt und mit etwas eingegossenem Blei festgehalten wird. Den Porzellanglocken findet man auch häufig Glasglocken substituirt, an deren Obertheil zwischen zwei ringförmigen Wulsten der Leitungsdraht (Fig. 446 bei II) mehrere Male herumgewunden und dann zu dem nächsten Pfahl weitergeführt ist. Getragen werden die Glocken oft auch von an der Seite des obern Pfahlendes festgeschraubten und in der Glocke eingekitteten (mit eingegossenem Gyps befestigten) eisernen Stützen, wie dies ebenfalls in Fig. 446 bei II anschaulich gemacht ist. Die oben besagte Isolirung durch die ringartigen Porzellanstücke hat den großen Nachtheil, daß diese Stücke, wenn sie bei Regenwetter u. s. w. naß werden, durch die Nässe den Leitungsdraht mit dem ebenfalls nassen Pfahl, und durch diesen mit der Erde in leitende Verbindung setzen, die Isolirung also mehr weniger aufheben; an den Glocken hingegen bildet die innere, stets trocken bleibende Fläche immer eine gut isolirende Schichte zwischen dem Leitungsdrahte und dem Pfahle, und es haben sich dieselben auch bei den ungünstigsten Witterungsverhältnissen bisher überall vollkommen bewährt. Bei unterirdischen (einige Fuß tief unter der Erdoberfläche fortgeführten) Leitungen müssen die Drähte mit einem gut isolirenden, durch die Erdfeuchtigkeit nicht leidenden Ueberzuge versehen, oder in Röhren aus Glas, am besten aber in eine Hülle aus Gutta Percha eingeschlossen sein. Bei den unterseeischen Telegraphenleitungen, wie sie bereits zwischen England und Frankreich (von Dover nach Calais) und zwischen England und Irland (von Howth nach Holyhead) bestehen, ist die Leitung aus Kupferdraht durch eine hinreichend dicke Hülle aus Gutta Percha isolirt und durch eine über dieser Hülle angebrachte zweite, aus galvanisirtem Eisendrahte bestehende Hülle gegen das Angenagtwerden von Seite der Seethiere geschützt.

Fig. 446.



Nach Siemens haben sich die unterirdischen Leitungen aus in Hüllen von Gutta Percha eingeschlossenen Drähten in Preußen und andern Orten Deutschlands gut bewährt, sowohl rücksichtlich vollständiger Isolirung, als, weil sie durch die leitende Erdschichte, von welcher sie bedeckt sind, sich den störenden Einflüssen der atmosphärischen Elektrizität fast ganz entzogen zeigten und nach den bisherigen Erfahrungen ihre Dauerhaftigkeit beinahe unbegrenzt erscheint. Auf den österreichischen Telegraphenlinien, wo solche unterirdische Leitungen in Anwendung gebracht wurden, war man hingegen gerade bezüglich der Isolirung so wenig zufrieden, daß diese Leitungen alle wieder aufgegeben und durch oberirdische ersetzt wurden. Man hat zu den unterirdischen die Gutta Percha in dem sogenannten vulkanisirten (d. i. geschwefelten) Zustande als vorzüglich geeignet angesehen; nach Gersheim hat jedoch das Vulkanisiren eine Verminderung ihrer Isolirungsfähigkeit zur Folge, und ist auch in so ferne nachtheilig, als es Ursache ist, warum die Kupferdrähte sich bald mit Schwefelkupfer überziehen und bedeutend an Leitungsfähigkeit verlieren.

Als Stromquellen wurden auf den meisten und insbesondere auf den österreichischen Telegraphenlinien früher Smee'sche Batterien angewendet, die für diesen Zweck sich in der That schon durch ihre Bequemlichkeit empfehlen, indem bei denselben in ähnlicher Art wie bei den Wollaston'schen Trogapparaten (man sehe die frühere Fig. 404) sich leicht die Einrichtung treffen läßt, daß sich alle Elemente

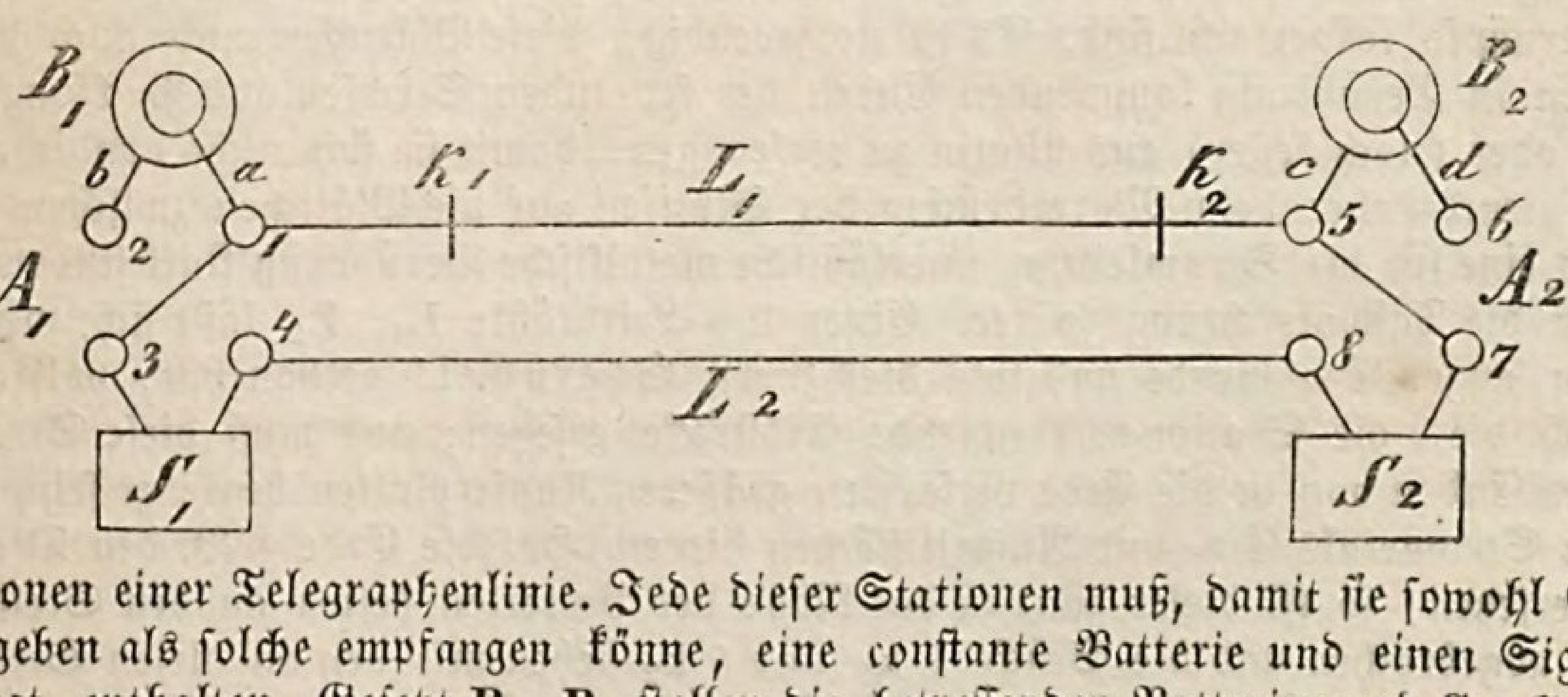
*) Wir wollen vorläufig diese zwei Drähte als erforderlich annehmen; später werden wir hören, daß einer davon entbehrlich ist und wegfällt.

gleichzeitig aus der Säure ausheben und eben so auf einmal wieder in dieselbe einsenken lassen, man also die Batterie während der Zeit, wo sie nicht gebraucht wird, der zerstörenden Wirkung der Säure entziehen und in jedem Augenblicke wieder zum Gebrauch bereit machen kann. In neuerer Zeit haben sie vielerorts der Daniell-schen und mancher andern gerade als für die Telegraphie besonders geeignet empfohlenen Batterie . . . (†) weichen müssen, sicherlich wegen der geringeren Constanz der Stärke ihres Stromes und wegen der Umständlichkeit, womit bei ihrer gewöhnlichen Construction die Zerlegung derselben Behufs Erneuerung der Amalgamirung der Zink- und der Verplatinirung der Silberplatten verbunden ist. Diese Uebelstände fallen aber alle in ganz genügender Weise weg, wenn die Elemente die ihnen von Schuh gegebene (S. 473 beschriebene) Einrichtung haben und gleichzeitig auch das in der Anmerkung auf S. 463 empfohlene Mittel angewendet wird, die Amalgamirung der Zinkplatten stets im guten Stande zu erhalten, was überdies auch dadurch sehr leicht erreicht wird, daß man am untern Rande jeder Zinkplatte eine kleine hölzerne Rinne befestigt (etwa blos durch Aufschieben mit Reibung) und in dieser stets einige Tropfen Quecksilber vorräthig hält, indem dieses sich dann immer am Zinke emporzieht.

Von den unter (†) erwähnten Batterien sollen hier nur die von Eisenlohr und von Stöhrer näher besprochen werden. Erstere ist eine Kupfer-Zinkbatterie, bei welcher die Kupferzelle nur verdünnte Schwefelsäure (5 Volumtheile Säure von 1·82 spezifisches Gewicht auf 100 Theile Wasser) und die Zinkzelle eine gesättigte Lösung von reinem Weinstein in Wasser enthält, worin zur beständigen Unterhaltung des Sättigungszustandes noch ein Säckchen mit Weinstein hängt. Diese Batterie verzehrt per Tag nur 1 Gramm Zink, die Thonzellen werden nicht mit Kupfervitriolkrystallen und das Zink nicht mit Kupfer überzogen, und sie behält, wenn sie immer nur während der Correspondenz geschlossen und dann wieder geöffnet wird, 3—4 Monate lang eine constante Wirkung, ohne daß eine Erneuerung der Säure oder sonst eine Nachhilfe nöthig ist. Bei der von Stöhrer empfohlenen Batterie stehen in einer Büchse aus Steingut an ihrer Wand herum passende Coaksstücke, wovon einige mit einem Kupferdrahte umwickelt sind; in der Mitte der Büchse steht eine Thonzelle und in dieser als Platte oder Kreuz ein Stück Zink, und alle übrigen Zwischenräume sind mit grobem Gartensand angefüllt. Das Ganze wird, wie in einem Blumentopfe, aber anstatt mit Wasser mit einer Alaunlösung begossen. Bei Aufbewahrung in einem geschlossenen Schranke braucht man das Begießen höchstens alle Monate zu wiederholen, um bei Anwendung hinreichend vieler Elemente für die Telegraphie eine sehr lange brauchbare Batterie zu haben.

Nun hätte die Beschreibung der Signal- oder Zeichenapparate an die Reihe zu kommen; es wird jedoch die Sache weit verständlicher sein, wenn vorläufig nur im Allgemeinen die Verbindung und das Zusammenwirken aller Haupttheile des Telegraphen besprochen wird. Zu diesem Ende seien A_1, A_2 Fig. 447, zwei aufeinander folgende

Fig. 447.

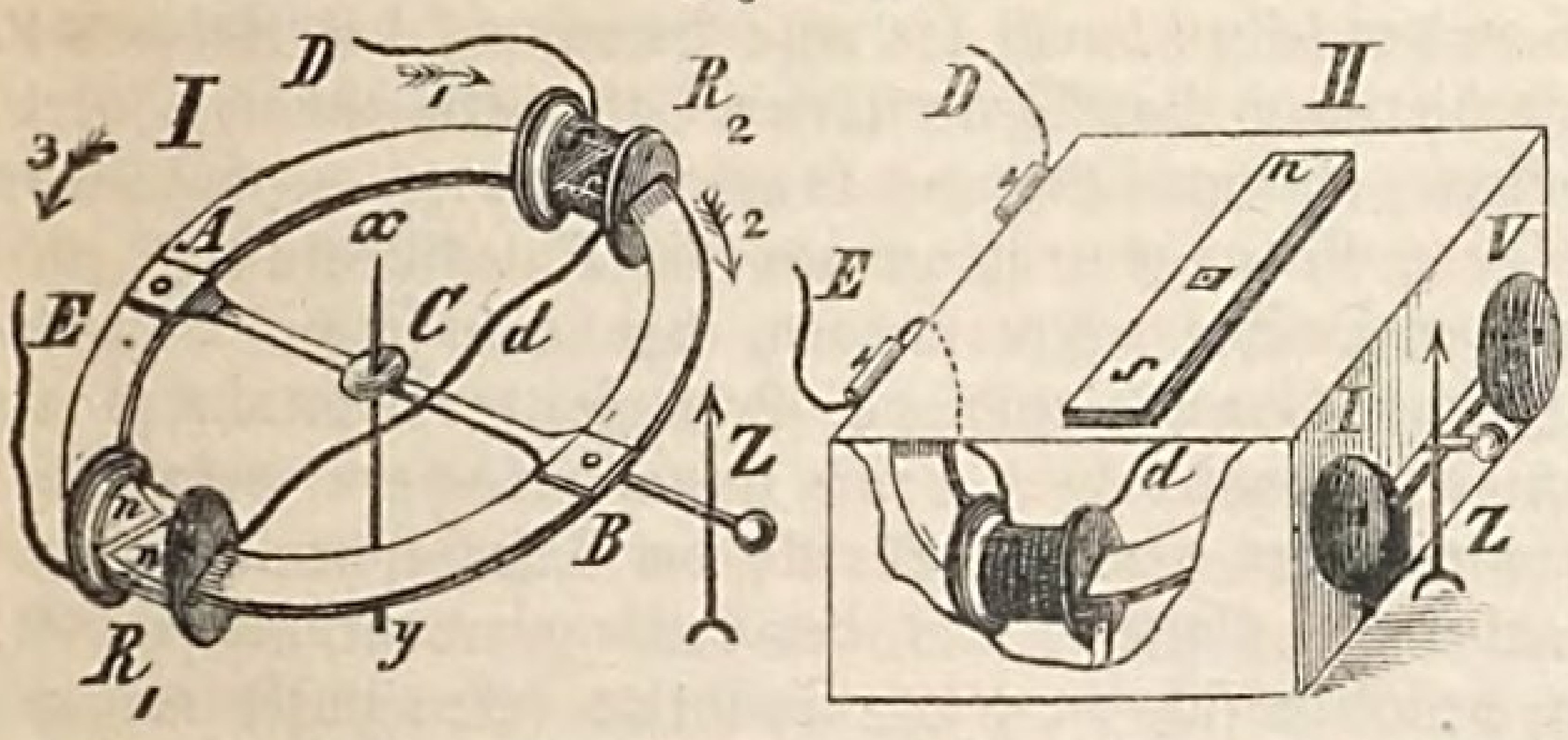


Stationen einer Telegraphenlinie. Jede dieser Stationen muß, damit sie sowohl Signale geben als solche empfangen könne, eine constante Batterie und einen Signalapparat enthalten. Gesetzt B_1, B_2 stellen die betreffenden Batterien und S_1, S_2 die Signalapparate vor. Wenn der von der einen Station ausgehende Strom auf der andern einen Stahlmagnet ablenken oder einen Elektromagnet erzeugen soll, so

muß sich offenbar abwechselnd die Batterie B_1 der Station A_1 mit dem Signalapparat S_2 der Station A_2 und umgekehrt die Batterie B_2 der letzteren Station mit dem Signalapparat S_1 der ersteren schnell in leitende Verbindung setzen lassen. Zu diesem Zwecke wollen wir uns vor der Hand die mit den Batterien und Signalapparaten auf, aus der Figur ersichtliche Weise leitend vereinigten Quecksilbernäpfchen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, dienlich denken, wovon die Näpfchen 1, 5 und die Näpfchen 4, 8 stets durch die von der einen Station zur andern gehenden zwei Leitdrähte L_1, L_2 verbunden sind. Von der Art, wie die übrigen Näpfchen einer und derselben Station unter einander (etwa durch mit den umgebogenen Enden eingetauchte Drähte) leitend verbunden werden, hängt dann das Weitere ab. Bei der in der Figur dargestellten Verbindung von 1 mit 3, dann von 5 mit 7, sind nur die Signalapparate leitend vereinigt, die Batterien aber nicht geschlossen, mithin außer Thätigkeit, wie dies der Fall sein muß, wenn nicht telegraphirt wird. Hebt man den Draht 1, 3 aus und verbindet dafür die Näpfe 2, 4, so ist die Batterie B_1 durch die Leiter L_1, L_2 und durch den Signalapparat S_2 (d. i. durch den an demselben die Ablenkung des Stahlmagnetes oder die Erzeugung des Elektromagnetes bewirkenden Draht) geschlossen, und es kann von der Station A_1 nach A_2 hin signalisirt werden. Wird hingegen unter Belassung der vorigen Verbindung der Näpfe 1 und 3 der Draht 5, 7 ausgehoben und dafür der Napf 6 mit dem Napfe 8 leitend verbunden, so ist die Kette B_2 durch die Leiter L_1, L_2 und den Signalapparat S_1 geschlossen und man kann von der Station A_2 aus nach A_1 hin telegraphiren. Dieser Wechsel von Verbindungen genügt, wenn es sich blos um Erregung und Aufhebung eines Stromes handelt, wie zur Erzeugung des Elektromagnetes bei dem (nachher zu beschreibenden) Morse'schen Telegraphen. Ist aber auch eine Umkehrung der Richtung des Stromes erforderlich, wie beim Bain'schen Telegraphen zur Bewerkstelligung der Ablenkungen des Stahlmagnetes nach der einen und nach der andern Seite hin; so müssen sich auch noch die Stellungen der Poldrähte a, b und c, d gegen die respektiven Näpfe 1, 2 und 5, 6 verwechseln lassen, so daß z. B. wenn die Station A_1 telegraphirt, zum Behufe der Stromumkehrung der vom + Pole der Batterie B_1 ausgehende Draht a mit dem Napf 2 und der vom — Pole kommende Draht b mit dem Napfe 1 in Communication gebracht werden kann. Beim Telegraphiren von der Station A_2 aus ist dann natürlich unter Fortbestand der andern dazu nöthigen Bedingungen der + Draht c in den Napf 6 und der — Draht d in den Napf 5 einzutauchen. Alle die Verbindungen, zu deren Vermittlung uns vorläufig die Quecksilbernäpfe gedient haben, lassen sich mit gleicher Sicherheit weit schneller und bequemer mittelst federnder Metallstreifen herstellen, die durch Tasten auf kleine Metallplättchen niedergedrückt werden, welche an den Stellen der Quecksilbernäpfe festgemacht sind. Es ist nothwendig, diese Plättchen und auch die mit ihnen in Berührung kommenden Enden der federnden Streifen aus Packfong, Silber oder (noch besser) aus Platin zu verfertigen, damit sie sich nicht oxydiren können, und daher beim Niederdrücken der Streifen auf die Plättchen zwischen beiden stets eine für die Stromleitung unerläßliche metallische Berührung statt findet. Mehr über die Tastvorrichtung später. Einer der Leitdrähte L_1, L_2 läßt sich, wie schon vorn angedeutet wurde und wie dies zuerst Steinheil gethan hat, vollkommen durch die, die Stationen trennende Erdstrecke ersetzen; nur muß diese Strecke an ihren Enden von in die Erde versenkten größeren Kupferplatten begrenzt sein, welche dem Strome als Ein- und Austrittflächen dienen. Hat die Erde z. B. den Draht L_1 zu ersetzen, so ist dieser ganz in der Nähe der Batterien (etwa an den Stellen k_1, k_2) abgebrochen und die Stücke 1 k_1 und 5 k_2 stehen mit den an diesen Stellen in die Erde versenkten Kupferplatten in Verbindung. Auch auf den Ersatz des einen Leitdrahtes durch eine Erdstrecke werden wir in dem Folgenden wieder zurückkommen . . . . (137).

Die Signalapparate. Bei dem Bain'schen Telegraphen hat der Signal- oder Zeichenapparat den Haupttheilen nach (und nur auf diese kann hier eingegangen werden) die in Fig. 448 anschaulich gemachte Einrichtung. **A**, **B** sind

Fig. 448.



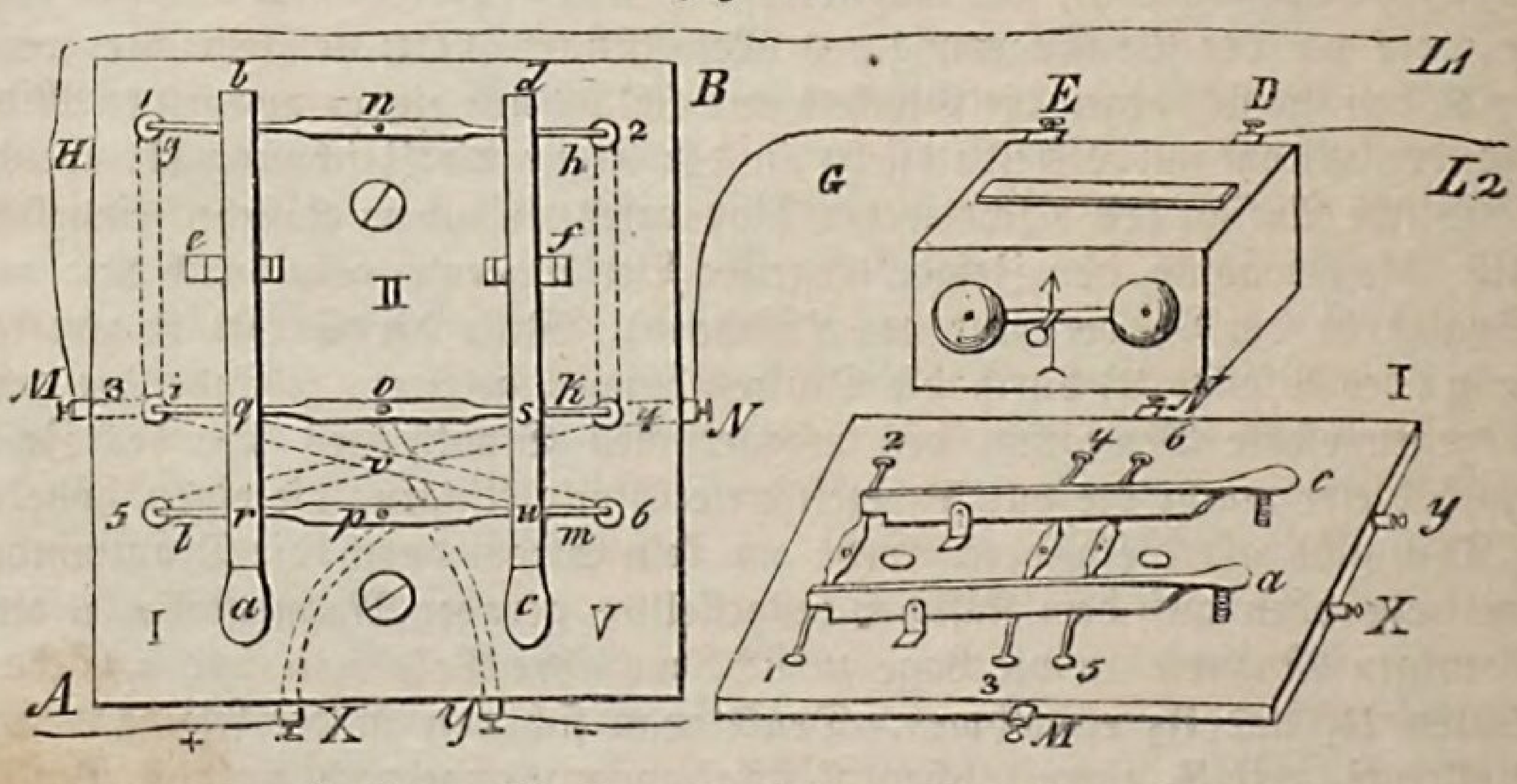
zwei halbkreisförmige, in einer und derselben Horizontalebene liegende, magnetische Stahllamellen, die an dem Messingstücke **ACB** festgemacht, mit diesem um eine Vertikalaxe xy möglichst leicht beweglich sind, und einander die gleichnamigen Pole zukehren. Die Anordnung dieser Pole (die übrigens sich nicht berühren) ist auch aus der Figur ersichtlich, wo **n**, **n** die Nord- und **s**, **s** die Südpole bedeuten. R_1 und R_2 sind zwei horizontal liegende, unbewegliche Multiplicatorrollen, d. i. messingene oder auch hölzerne Rollen (Spulen), deren jede eine große Anzahl Windungen aus dünnem, mit Seide übersponnenem Kupferdrahte enthält. (In der Figur ist bei **I** die eine Rolle ohne, die andere mit den Drahtwindungen und letztere gleichsam durchscheinend dargestellt, damit man sowohl die Beschaffenheit der Rollen und der Windungen als auch die Anordnung der Magnetpole deutlich sehe.) Die Windungen gehen auf beiden Rollen nach der nämlichen Richtung und sind durch das Drahtstück d zu einem ununterbrochenen Ganzen vereinigt, welches in die Enden **D**, **E** ausläuft. Werden diese Enden mit den Polen einer elektrischen Kette in Verbindung gesetzt und hat der die Drahtwindungen dann passirende Strom eine solche Richtung (z. B. nach Pfeil **1**), daß er die Nordpole **n**, **n** nach links, mithin die Südpole **s**, **s** nach rechts ablenkt, so werden die ersteren und die letzteren aus ihrer Ruhelage in den Rollen nach der nämlichen Richtung (des Pfeiles 2) herausgetrieben, der magnetische Stahlkreis dreht sich in dieser Richtung um xy, ein an der Verlängerung des Metallstückes **ACB** festgemachter vertikaler Zeiger **Z** bewegt sich gegen die Glocke **I** und schlägt mit einem aus seiner Mitte hervorragenden Knopf an dieselbe (siehe in der Figur die Zeichnung **II**, welche eine perspektivische Ansicht des beschriebenen Apparates, in einem Kästchen eingeschlossen, darstellt; die erwähnte, den Zeiger tragende Verlängerung geht durch eine horizontale Spalte in der Vorderwand des Kästchens). Wird der Strom in umgekehrter Richtung (des Pfeiles 3) durch die Dratwindungen geleitet, so findet die zur vorigen entgegengesetzte Bewegung des magnetischen Stahlkreises und des Zeigers **Z** statt, und dieser macht die mit **V** bezeichnete Glocke klingen, die einen höhern oder tiefern Ton gibt als die andere. Geht gar kein Strom durch die Drahtwindungen, so führt ein oben auf dem Kästchen festgestellter gerader Magnetstab **s**, **n** die halbkreisförmigen Magnete in die Lage zurück, wo ihre Pole **n**, **n** und **s**, **s** die Mitte der Rollen R_1 und R_2 einnehmen. Denkt man sich nun in der Fig. 447 an jeder der Stellen S_1 und S_2 einen solchen Kästchenapparat angebracht und die Drahtenden **D**, **E** mit den respektiven Quecksilbernäpfen oder Platinplättchen 3, 4 und 7, 8 leitend verbunden, so hat man einen vollständigen Telegraphen nach dem Bain'schen Princip. Die Zeichen, die mittelst desselben von der einen Station auf die andere gegeben werden können, sind Combinationen der Zahlen 1 und 5, welche (Combinationen) dadurch erhalten werden, daß der den Signalapparat beobachtende Beamte so oft 1 oder 5 niederschreibt, als der Zeiger **Z** an die mit **I** oder an die mit **V** bezeichnete Glocke schlägt, und dann Buchstaben, Worte oder auch ganze Sätze darstellen. Die Bezeichnung der Glocken mit **I** und **V** ist willkürlich, aber zweckmäßig, weil diese Zeichen sich auffallend von einander unterscheiden und daher

nicht leicht durch ihre Verwechslung Irrungen entstehen können. Das Anschlagen an die Glocken dient zugleich am Tage, um den betreffenden Beamten aufmerksam zu machen, daß eine Telegraphirung stattfinden wird. In der Nachtzeit geschieht dieses Aufmerksammachen mittelst eines Weckers, der in der Nähe des Signalapparates so angebracht ist, daß an demselben durch die erste Bewegung des Zeigers **Z** ein Sperrhaken ausgelöst und hierdurch das Weckeruhrwerk ablaufen gemacht wird.

Die schon oben erwähnte Tastenvorrichtung (das Tastbret), durch welche bei Herstellung der erforderlichen Leitungsverbindungen die Quecksilbernäpfe und die in dieselben einzutauchenden Drähte ersetzt werden, hat eine solche Einrichtung, und steht mit dem Zeichen-Apparat und der Batterie der Station so in Verbindung, daß, wenn nicht telegraphirt wird, eine ununterbrochene metallische Leitung zwischen allen Stationen einer gewissen Strecke der Telegraphenlinie hergestellt, an jeder Station aber die Batterie aus der Leitung ausgeschlossen ist. So wie man eine Taste (es befinden sich an jedem Tastbrete deren zwei) niederdrückt, tritt an der Station, wo dieses geschieht, die Batterie mit in den Schließungskreis der Leitung und, jenachdem man die linke oder die rechte Taste in Wirksamkeit setzt, wird der kreisförmige Doppelmagnet des Signalapparates an allen Stationen nach links oder nach rechts abgelenkt und gibt durch den Schlag an die betreffende Glocke dem Manipulationsbeamten das Zeichen, daß telegraphirt werden wird. Als zweites Zeichen folgt dann das sogenannte Stationszeichen, d. h. jenes der für alle Stationen festgesetzten Zeichen, aus dem erkannt wird, welcher Station die Telegraphirung gilt, und es ist dieses Zeichen zugleich die Aufforderung für den Beamten der betreffenden Station, durch das Zurückgeben seines Stationszeichens die Anwesenheit an seinem Platze und seine Aufmerksamkeit kund zu geben. Ist dies geschehen, so beginnt dann erst die eigentliche Telegraphirung.

Die Fig. 449 erläutert die Einrichtung und Wirkung des Tastapparates genauer. **I** ist eine perspektivische Ansicht und **II** ein Grundriß desselben. In beiden

Fig. 449.



Figuren sind die nämlichen Theile mit gleichen Buchstaben bezeichnet. **AB** ist ein Bret, worauf sich zwei hölzerne Hebel **ab** und **cd** befinden, die ihre horizontalen Drehaxen bei e, f haben und deren Enden (Taster) a, c durch darunter angebrachte Spiralfedern in die Höhe gehalten werden, und sich immer gleich wieder erheben, wenn sie niedergedrückt worden, der Druck aber nachläßt. Sicherer als durch die Spiralfedern, die mit der Zeit mehr weniger ihre Elastizität verlieren, wird das besagte in der Höhe Erhalten der Tastenenden a, c durch kugelförmige Bleimassen bewerkstelligt, die an den in diesem Falle über den Rand des Bretes **AB** hinausragenden Tastenenden b, d festgemacht sind und diese Enden be-

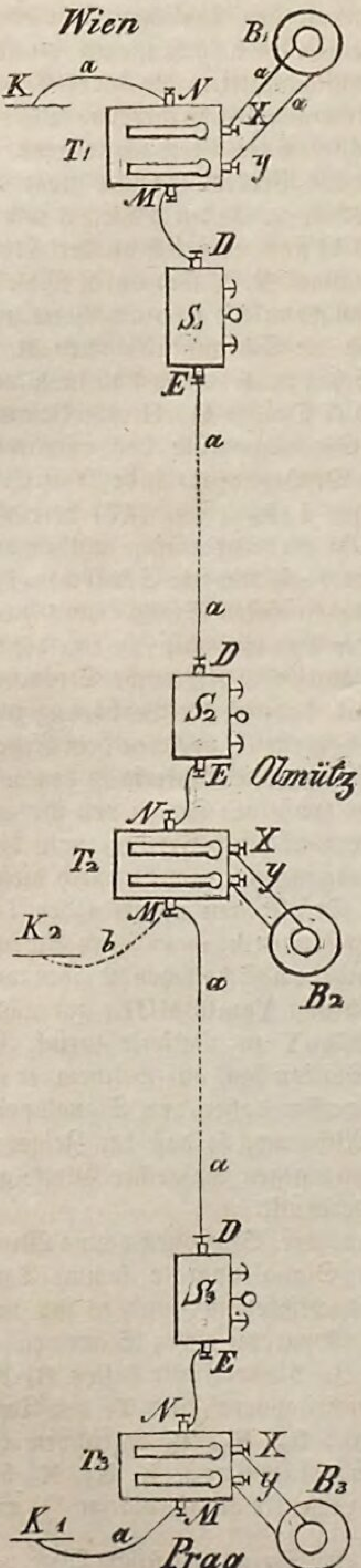
ständig hinabziehen. gh, ik und lm sind drei Federn aus Packfong, die bei n, o, p, auf dem Brete angeschraubt, übrigens so gekrümmt und an den Tasten bei b, q, r, d, s, u festgemacht sind, daß bei erhobenen Tastern a, c die Feder-Enden g, h auf den unter ihnen ins Bret eingelassenen Scheibchen 1, 2 aus Platin oder Packfong aufsitzen, die Feder-Enden i, k und l, m aber von den ähnlichen Scheibchen 3, 4, 5, 6 abstehen, und daß beim Niederdrücken der Taster a, c hingegen die Feder-Enden g, h von den Scheibchen 1, 2 abgehoben und gleichzeitig die Feder-Enden i, k, l, m mit den Scheibchen 3, 4, 5, 6 in Berührung gebracht werden. Die besagten 6 Scheibchen stehen untereinander durch (gewöhnlich im Brete verborgene, in der Figur punktirt angezeigte) Metallstreifen in leitender Verbindung und zwar die Scheibchen 1, 3 durch den Streifen gi, die Scheibchen 2, 4 durch hk, 3 und 6 durch im, endlich 4, 5 durch kl (die Streifen im und kl sind natürlich an der Kreuzungsstelle v von einander isolirt). Die Schraubenklemmen **X**, **Y** sind durch Metallstreifen mit den Federn lm und ik an ihren Befestigungspunkten p, o am Brete und zwar **X** mit lm und **Y** mit ik leitend verbunden, und die Schraubenklemmen **M**, **N** stehen in ähnlicher Verbindung mit den Packfongscheibchen 3, 4. Sind nun in **X** und **Y** die Poldrähte der Batterie, hingegen in **M** und **N** Drähte **G**, **H** eingeklemmt, wovon **G** zu dem Ende **E** des Drahtgewindes im Signalapparate der nämlichen Station führt, während **H** mit der einen und das Drahtgewind-Ende **D** mit der zweiten der zur nächsten Station führenden Leitungen $L_1 L_2$ (Fig. 447) vereinigt ist, so schließt der Tastapparat, wenn seine Tasten nicht niedergedrückt, mithin von allen Federn und zugehörigen Scheibchen blos die Feder gh mit den Scheibchen 1, 2 in Berührung stehen, nur den Leitungskreis mit der nächsten Station und zwar durch den ununterbrochenen Leiter **N42hng13M**, die Batterie aber ist aus diesem Kreise ausgeschlossen, und es findet daher von dieser aus keine elektrische Strömung statt. Wird hingegen der Taster a niedergedrückt und dadurch die Berührung zwischen den Feder-Enden i, l und den Scheibchen 3, 5 hergestellt, zwischen dem Feder-Ende g und dem Scheibchen 1 aber aufgehoben; so ist auch die Batterie in den vorbesagten Leitungskreis eingeschlossen, und es geht der (positive) Strom von ihr aus in der Richtung $\mathbf{Xpl54NGL_2}$ zum Signalapparate der nächsten Station, von diesem durch die Leitung $\mathbf{L_1}$ zu dem Tastapparate der Ausgangsstation und durch diesen hindurch auf dem Wege **M3ioY** zur Batterie zurück. Drückt man anstatt a den Taster c nieder, so daß die Berührung zwischen den Feder-Enden k, m und den Scheibchen 4, 6 hergestellt, zwischen dem Feder-Ende h und dem Scheibchen 2 aber aufgehoben wird, so nimmt der positive Strom die Richtung $\mathbf{Xpm63MHL_1}$ zur nächsten Station und von dieser auf dem Wege $\mathbf{L_2GN4koY}$ zur Batterie zurück. Er geht also jetzt auf dem nämlichen Wege zur nächsten Station hin, auf welchem er im vorigen Falle von dieser Station zurückgegangen ist, passirt daher den Signalapparat derselben in der gegen die vorige umgekehrten Richtung, so daß der Zeiger **Z** dieses Apparates immer abwechselnd gegen die linke und gegen die rechte Glocke getrieben wird, wenn man die Taster abwechselnd niederdrückt.

Gesetzt nun eine Telegraphenlinie bestehe z. B. aus drei Stationen (etwa Wien, Olmütz, Prag), deren jede mit einem Bain'schen Signalapparate sammt Tastbret und Batterie versehen, also zum Signalgeben eingerichtet ist, und es soll von Wien nach Prag telegraphirt werden; so müssen die Apparate dieser Stationen in der aus Fig. 450 ersichtlichen Art verbunden sein. In dieser Figur stellen $\mathbf{B_1}$ die galvanische (etwa Smee'sche) Batterie, $\mathbf{S_1}$ den Zeichenapparat und $\mathbf{T_1}$ den Tastapparat auf der Station Wien vor, $\mathbf{B_2}$, $\mathbf{S_2}$ $\mathbf{T_2}$ und $\mathbf{B_3}$, $\mathbf{S_3}$, $\mathbf{T_3}$ bezeichnen die gleichen Apparate der andern zwei Stationen Olmütz und Prag. **K**, $\mathbf{K_1}$, $\mathbf{K_2}$ bedeuten drei an den einzelnen Stationen in die Erde versenkte Kupferplatten *), und

*) Es wird nämlich gemäß (137) vorausgesetzt, daß dem Strome auf seinem Wege von der einen Station zur andern und wieder zurück in der einen Richtung die Erde als Lei-

die Linien a, a ... stellen Drähte vor, durch welche die Apparate einer und derselben Station und die Stationen unter einander in leitender Verbindung stehen. Die übrigen Buchstaben endlich haben ganz die nämliche Bedeutung wie in den früheren Figuren 448 und 449. Soll nun von einer der Grenzstationen, z. B. von Wien aus telegraphirt werden, so hat man daselbst vor Allem die Batterie herzurichten (bei der Smee'schen Batterie, deren Metallplatten, welche, wie vorn S. 503 erwähnt worden, aus der Säure ausgehoben sind, wenn nicht telegraphirt wird, in diese Flüssigkeit einzusenken u. s. w.). Hierauf wird auf die andern Stationen hin durch einige Male abwechselndes Niederdrücken der Tasten des Tastapparates (was ein eben so oft abwechselndes Hin- und Hergehen des Zeigers am Zeichenapparate jeder Station und Anschlagen an die Glocken zur Folge hat) das die betreffenden

Fig. 450.



---

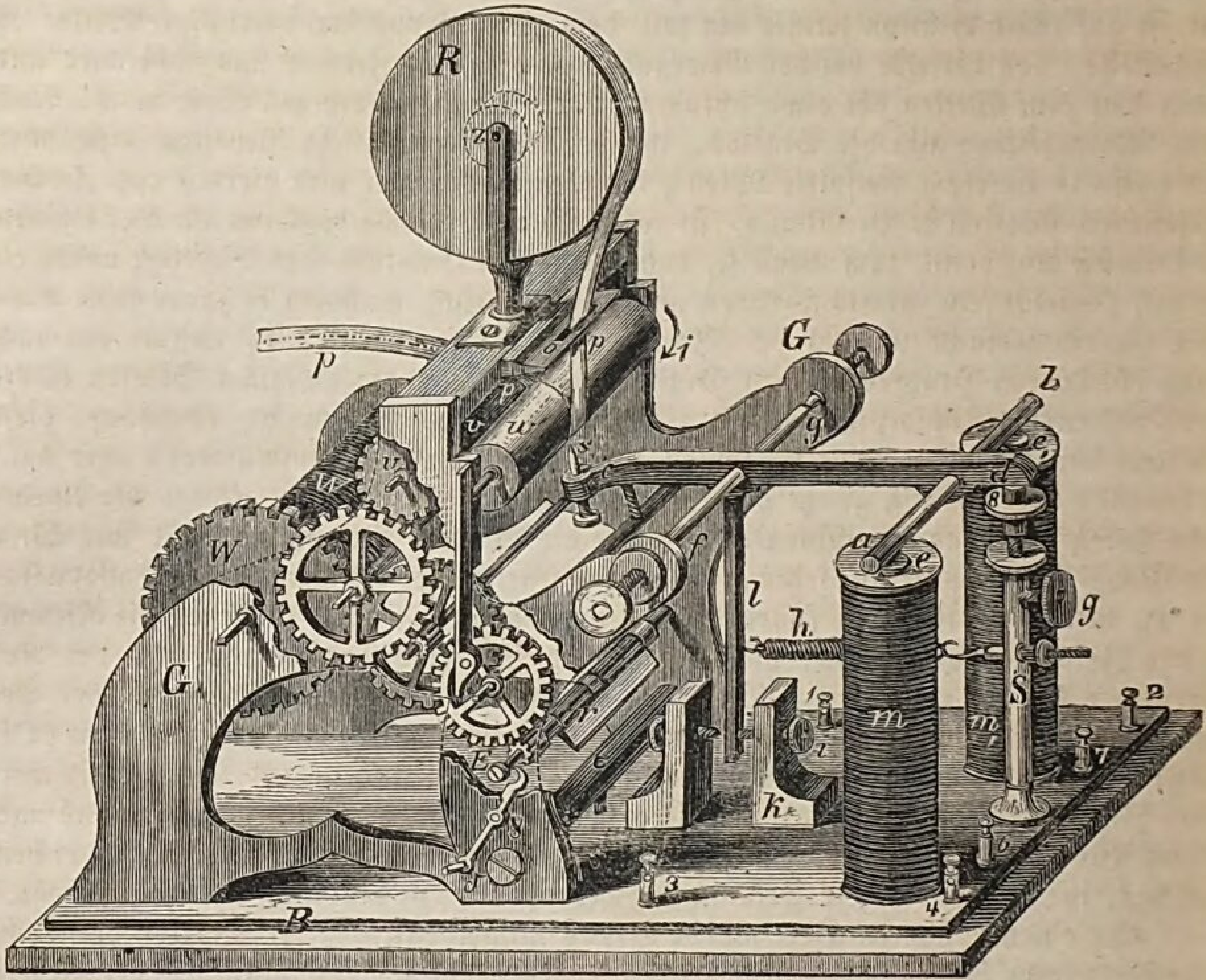
ter diene. Nach der Ansicht Steinheil's selbst, Matteuccis und anderer Physiker, fungirt hier die Erde wirklich als Leiter, und die betreffende Strecke erhält, obgleich Erdreich und Wasser zu den schlecht leitenden Substanzen gehören, dadurch die nöthige Leitungsfähigkeit, daß man ihr durch die sie begrenzenden Kupferplatten (K_1, K_2, K) so große Querschnittsflächen gibt (da in dem nämlichen Verhältnisse, in welchem der Querschnitt eines Leiters wächst, derselbe zu einem bessern Leiter wird). Nach einer andern Ansicht, welche von de Tessan, Guillemin, und de Girard aufgestellt wurde, hat man sich nicht vorzustellen, daß der Strom gerade nur durch die Erdstrecke gehe, um welche die beiden Kupferplatten von einander abstehen (was auch in der That nicht recht zu begreifen ist); sondern vielmehr, daß die zwei Kupferplatten die Elektroden bilden, durch welche einerseits die positive, andererseits die negative Elektrizität von den Polen der Batterie in die Erde als großes Reservoir abfließe und sich darin verliere, und daß, indem die abgeflossenen Elektrizitäten durch die fortdauernde elektromotorische Thätigkeit in der Batterie sogleich ersetzt werden (zu Folge des Gesetzes der constanten elektrischen Differenz an den Polen), der Ersatz immer wieder abfließt u. s. f, in der Batterie und in den von dieser zu den besagten Elektroden (den Kupferplatten) führenden Leitern eine continuirliche Strömung unterhalten werde. Daß diese Elektroden deswegen aus größeren Platten bestehen, damit den Elektrizitäten der schnelle Uebergang in die weniger gut leitende Erde durch eine größere Anzahl Eintrittspunkte erleichtert sei, bedarf wohl nicht erst einer Erwähnung. Diese Ansicht ist eben so naturgemäß als völlig begreiflich und bis jetzt noch durch keine entscheidenden Thatsachen widerlegt. Uebrigens gehört die Steinheil'sche Entdeckung, daß sich einer der zwei Leitdrähte jeder Telegraphenlinie durch die Erde ersetzen lasse, zu den glänzendsten und wegen der großen Ersparniß, die sie möglich macht, auch zu den wichtigsten Erfindungen im Gebiete der elektrischen Telegraphie.

Beamten aufmerksam machende Zeichen (das Alarmzeichen) gegeben. Zur Nachtzeit ist auf jeder Station immer der mit dem Zeichenapparate vereinigte Wecker so eingestellt, daß derselbe bei der Bewegung des besagten Zeigers ausgelöst wird und dann den zum Wecken der etwa schlummernden Beamten nöthigen Lärm macht. Nach dem Alarmzeichen gibt die Station, welche die telegraphische Depesche abzusenden hat (also in unserem Beispiele Wien), ihr Stationszeichen und hierauf das Zeichen derjenigen Station z. B. Olmütz, für welche diese Depesche bestimmt ist. Der Beamte zu Olmütz gibt dann, zum Beweise, daß er auf den Empfang der Depesche vorbereitet sei, sogleich sein Stationszeichen nach Wien zurück, nachdem er zuvor seine Batterie zurechtgemacht und in der Klemme **M** des Tastapparates T_2 anstatt des nach Prag führenden Drahtes a einen Draht b, welcher mit der an seiner Station in die Erde versenkten Küpferplatte K_2 in Verbindung steht, festgemacht, überhaupt diese Klemme anstatt mit a, mit K_2 schnell, etwa mittelst eines Commutators oder dgl., in leitende Verbindung gesetzt hat. Ist dies Alles geschehen, so erfolgt die eigentliche Telegraphirung von Wien aus. Hätte die Station Olmütz sich statt mit Wien mit Prag in Rapport zu setzen, so wäre natürlich die Klemme **M** des Tastapparates T_2 mit dem nach Prag führenden Leitungsdrahte außer, hingegen die Klemme **D** des Zeichenapparates S_2, anstatt mit dem Wiener Leitungsdraht, mit der Kupferplatte K_2 auf eben besagte Weise in leitende Verbindung zu bringen. Bei Belassung der ursprünglichen Leitungsverbindung kann von der mittleren Station (Olmütz) gleichzeitig nach beiden Seiten hin (nach Wien und Prag) telegraphirt werden. Ist die Telegraphirung, bei welcher Wort für Wort vor sich gegangen und nach jedem Worte immer etwas ausgesetzt wird, zu Ende, so erfolgt das Schlußzeichen, welches, wenn keine andere Bestimmung getroffen ist, in dem Alarmzeichen besteht.

An einem früheren Orte wurde bereits mitgetheilt, daß die Wörter der Telegraphensprache beim Bain'schen Zeichenapparate durch Combinationen der Ziffern 1 und 5 gebildet werden können. Allein die Combination der vielen, verschiedenen für die Correspondenz erforderlichen Wörter aus nur zwei Zeichen bleibt immer schwierig, mindestens sehr zeitraubend; man hat sich daher noch zwei andere Zeichen gebildet. Man unterscheidet nämlich, ob der Zeiger **Z** des Zeichenapparates an der Glocke, an die er anschlägt, nur einen Augenblick oder einige Zeit verweilt (und er verweilt offenbar so lange, als die Taste, durch deren Niederdrücken er gegen die Glocke getrieben wurde, niedergedrückt bleibt) und läßt das längere Verweilen an der mit **I** bezeichneten Glocke 2, an der mit **V** bezeichneten Glocke aber 6 bedeuten, während ein nur augenblickliches Verweilen an ersterer Glocke das Zeichen 1 und an letzterer das Zeichen 5 gibt. Mit diesen vier Zeichen 1, 2, 5 und 6 reicht man aber vollkommen aus. Denn läßt man von den 16 verschiedenen Amben: 11, 12, 15, 16, 21, 22, 25, 26, 51, 52, 55, 56, 61, 62, 65, 66, welche sie geben, jede einen Buchstaben bedeuten; so stellen die 16 Buchstaben das ganze Alphabet dar und es lassen sich aus denselben alle Wörter bilden, wenn der Rechtschreibung das die Verständlichkeit übrigens nicht beirrende Opfer gebracht wird, daß man zwischen b und p; c und z; d und t; f, v und w; g, k und q; h und ch keinen Unterschied macht.

Morse's Signalapparat. Nach dem Systeme des Amerikaners Morse werden, wie aus dem Vorhergehenden bekannt, die Zeichen mittelst eines Elektromagneten gegeben; der Signalapparat selbst hat, in der verbesserten, zweckmäßigsten Gestalt, in welcher er auch auf den österreichischen Telegraphenlinien angewendet wird, den Haupttheilen nach, folgende, in Fig. 451 anschaulich gemachte Einrichtung. Auf einer Bodenplatte **B** ist ein zweischenklicher Elektromagnet festgemacht, der gebildet ist aus zwei aufrechtstehenden, cylindrischen, gleichlangen und gleichdicken Stäben e, e_1 aus weichem Eisen, die an den untern Enden durch eine Schiene desselben Materials vereinigt sind, und auf deren jedem eine hölzerne Spule aufge-

Fig. 451.



steckt ist, welche die aus vielen Windungen von mit Seide übersponnenem Kupferdraht bestehende Magnetisirungsspirale m, m_1 enthält. Das Ende der einen Spirale ist mit dem Anfange der andern vereinigt, so, daß die Windungen auf beiden Spulen ein zusammenhängendes Ganze bilden, und diese Windungen gehen in einem solchen Sinne, daß, indem der Strom einer Volta'schen Kette die Spiralen eine nach der andern durchläuft, die oben aus den Spulen etwas hervorstehenden Enden der Eisenkerne zu entgegengesetzten Magnetpolen werden. Die zwei freien Enden der Spiralen sind mit den von einander isolirten Klemmschrauben 1, 2 vereinigt, und es ist daher, indem die eine dieser Schrauben mit dem positiven und die andere mit dem negativen Pol der Kette in leitende Verbindung gesetzt wird, der Stromkreis dieser letzteren durch die Magnetisirungsspiralen (die von nun an der Kürze halber immer der Multiplikator heißen mögen) geschlossen. ab stellt einen Anker aus weichem Eisen vor, der in einem messingenen Hebel cd festgemacht ist, welcher sich um die horizontale Axe fg leicht bewegt und am Ende c eine stumpfe Stahlspitze **s** eingesetzt enthält. Die stählerne Spiralfeder h wirkt so auf diesen Hebel, daß, so lange die Eisenkerne (e, e_1) nicht magnetisch sind, der Anker ab von diesen Kernen und die Stahlspitze s von der über ihr angebrachten horizontalen Messingwalze **w** etwas absteht. Diese Walze hat ihre Lager im Gestelle **G**, und in der Mitte eine rund herumgehende seichte Nuth (Rinne), welche der Stahlspitze **s** so correspondirt, daß diese, wenn sie an **w** angedrückt wird, in die Nuth eingreift und während der ganzen Umdrehung von w darin verbleibt. Zwischen der Walze **w** und einer zweiten ihr parallelen Walze **v** ist ein etwa zollbreiter Papierstreifen p, p eingeklemmt, der von einer Rolle **R** herkömmt, die aus zwei an den Mittelpunkten durch einen kurzen Cylinder **z** vereinigten kreisrunden Scheiben gebildet, um ihre Axe nur mit Reibung beweglich ist und den besagten Streifen aus sogenanntem endlosen Papier in vielen über einander liegenden Windungen aufgewickelt enthält. Indem ein im Gestelle **G**

vorhandenes Räderwerk, welches durch den Zug eines Gewichtes an einer um die Walze **W** herumgewundenen Schnur getrieben und durch einen Windflügel r in möglichst gleichförmiger Bewegung erhalten wird, die untere der beiden (an den Oberflächen rauhen) Walzen nach der Richtung des beigesetzten Pfeiles 1 in Bewegung setzt, nimmt diese Walze den zwischen ihr und der zweiten Walze eingeklemmten Papierstreifen durch Reibung mit sich fort; dieser wird daher ziemlich gleichförmig an der Stahlspitze vorübergezogen und dabei vermittelst des einen Schlitz, durch den er durchgeht, enthaltenden Plättchens o so geführt, daß immer seine Mitte an der Stahlspitze hingeht. Besserer Ansicht des besagten Räderwerkes wegen ist das Gestelle **P** vorn zum Theil ausgebrochen dargestellt.

Werden nun, indem der Stromkreis der Volta'schen Kette durch den Multiplikator geschlossen wird, die Eisenkerne in diesem magnetisch, so ziehen sie den Anker ab an sich, und dem zu Folge drückt die Stahlspitze s das Papier auf der Walze w in deren Rinne hinein, die gerade nur so tief ist, daß das Papier einen bleibenden Eindruck empfängt, ohne durchstochen zu werden. Wird hierauf der Stromkreis wieder geöffnet und hiedurch den Eisenkernen der Magnetismus wieder genommen, so zieht die Stahlfeder h den Anker ab und die Spitze s in ihre vorige Stellung (wo ersterer mit den Eisenkernen und letztere mit dem Papiere auf der Walze w außer Berührung steht) zurück; bei neuerlicher Schließung der Kette erfolgt abermals Anziehung des Ankers und Eindrücken des Papiers u. s. f. Ziehen während dem die Walzen w, v den Papierstreifen p über die Walze w hin continuirlich vorwärts, so erscheinen die Eindrücke der Spitze s auf demselben als vertiefte Punkte oder Striche, je nachdem man den Stromkreis nur Augenblicke oder längere Zeittheile hindurch hat geschlossen gelassen, und diese Punkte und Striche (letztere von verschiedener Länge) sind die Zeichen, durch deren Combinirung die Wörter der telegraphischen Sprache gebildet werden. Es ist noch zu bemerken, daß, wenn der Anker ab angezogen und die Spitze s in die Nuth der Walze w hineingedrückt wird, ersterer mit dem Elektromagnete nicht völlig in Berührung kommen darf, weil (S. 483) die geringe Kraft der Feder h nicht hinreichend wäre, nach Unterbrechung des Stromes den Anker wieder vom Elektromagnete loszureißen . . . (†). Zu diesem Ende sind die Schrauben 8, 9 vorhanden: erstere wird so gestellt, daß sie das Hebelende d arretirt, bevor noch der vom Elektromagnet angezogene Anker mit dessen Polflächen ganz in Berührung kommt, und die Schraube 9 dient zum Fixiren der Stellung von 8.

Um nun eine gehörige Vorstellung zu erhalten von der Anordnung, welche auf einer Telegraphenlinie getroffen sein müßte, wo man als Signalapparat den eben beschriebenen Morse'schen Schreibapparat allein anwenden wollte (eine solche alleinige Anwendung fand wohl anfangs Statt, bald jedoch kam, wie wir gleich näher besprechen werden, zu diesem Schreibapparat noch ein anderer wesentlicher Apparat hinzu); so darf man sich nur in der früheren Figur 450 an die Stelle der Bain'schen Zeichenapparate S_1, S_2 und S_3, Morse'sche gebracht, und statt der Drahtenden **D**, **E** an den ersteren Apparaten die Multiplikator-Drahtenden der letzteren mit den betreffenden, die Stationen verbindenden Leitungsdrähten (durch Einspannen dieser Leitungsdrähte in die Klemmschrauben 1, 2 Fig. 451) vereinigt denken. Man würde dann an den Tastapparaten mit einer der zwei Tasten ausreichen, weil keine Umkehrung der Stromrichtung erforderlich ist, und es ließen sich deswegen auch den beschriebenen Tastapparaten T_1, T_2 und T_3 einfachere, nur mit einer Taste versehene Apparate substituiren, die gleichfalls so eingerichtet sind, daß bei erhobener Taste die Leitung zwischen allen Stationen unter Ausschluß sämmtlicher Batterien hergestellt, bei niedergedrückter Taste aber in diesen Leitungskreis auch die Batterie jener Station mit eingeschlossen ist, auf welcher die Taste niedergedrückt worden. Die

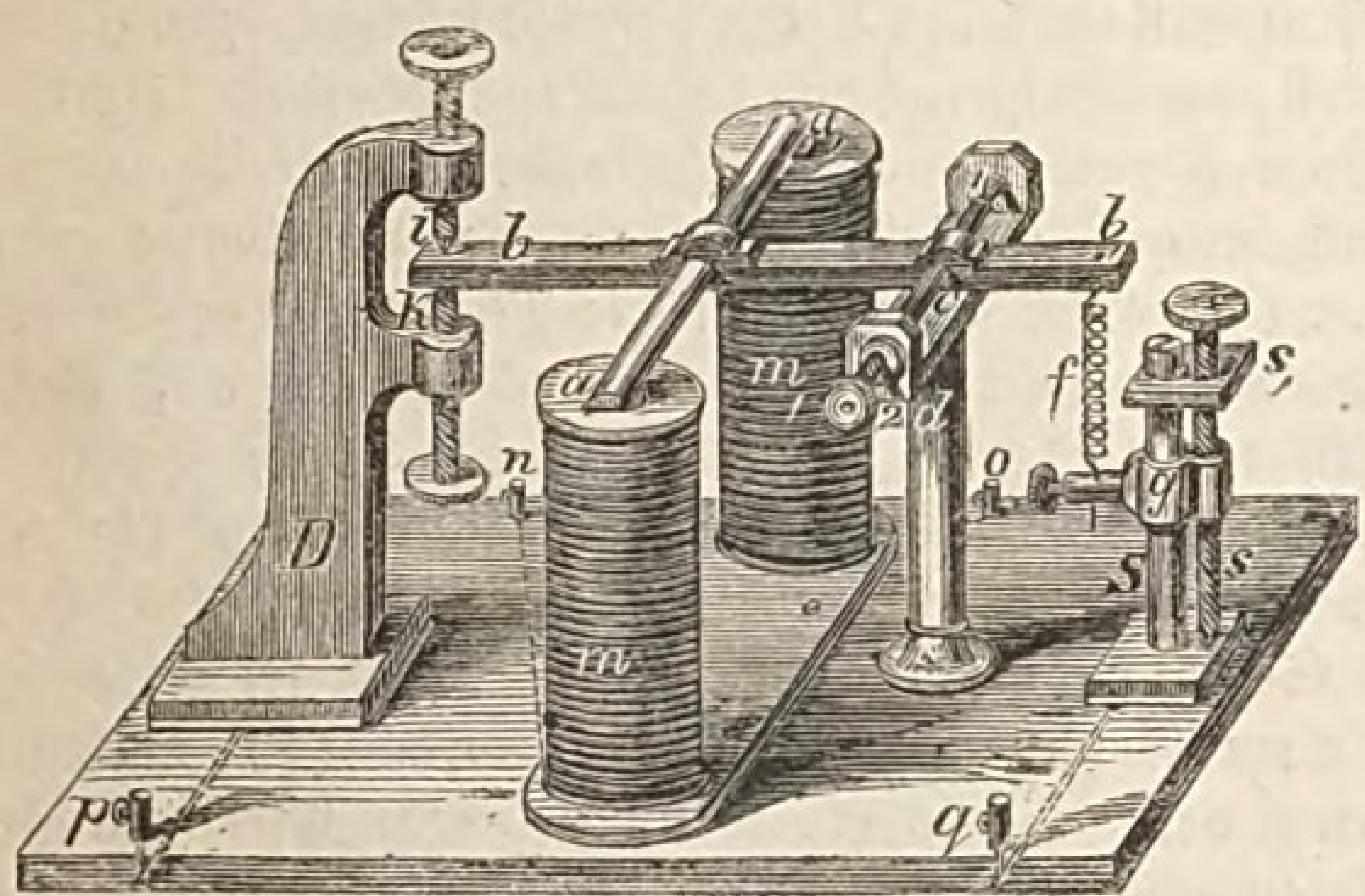
leichte Ausführbarkeit und die Einrichtung eines solchen eintastigen Apparates ist nach dem Vorausgegangenen Jedermann von selbst begreiflich...(†). Eben so leuchtet ein, daß beim Telegraphiren von Wien nach Prag oder Olmütz (um bei der vorn als Beispiel gewählten Telegraphenlinie stehen zu bleiben) genau die nämlichen Leitungsverbindungen zwischen den Stationen und mit den Batterien herzustellen wären, die beim Bain'schen System angegeben wurden, und daß man dann beim Telegraphiren selbst, auf der Station, von welcher die Depesche ausgehen soll, die Taste nur abwechselnd niederzudrücken und wieder auszulassen hätte, um die Elektromagnete und ihre Hebel an den betreffenden andern Stationen in Wirksamkeit zu setzen: denn bei jedem Niederdrücken würde die elektrische Kette geschlossen, der von der telegraphirenden Station ausgehende Strom durchliefe die Drahtwindungen um die Hufeisenstäbe der Signalapparate, die Anker und Ankerhebel würden angezogen, blieben es so lange, bis durch Auslassen der Taste die Kette wieder geöffnet (der Strom wieder aufhören gemacht) würde u. s. w. Ein nur momentanes Niederdrücken der Taste hätte natürlich auf jedem der betreffenden Papierstreifen einen vertieften Punkt und ein, längere Zeit währendes Niederdrücken einen Strich zur Folge, dessen Länge mit dieser Zeit wächst. Als Alarmzeichen könnten am Tage die wohl vernehmlichen Schläge selbst dienen, welche beim Aufschlagen des Hebelendes d auf die Arretirungsschraube s (Fig. 451) entstehen, weswegen der eigentlichen Telegraphirung auch immer einige solche sonst bedeutungslose Schläge vorauszuschicken wären, und zur Nachtzeit könnte durch den Ankerhebel ein damit in Verbindung gesetzter Wecker ausgelöst werden.

Bei der eben beschriebenen Anwendung der Morse'schen Schreibapparate werden zum Telegraphiren auf größere Distanzen sehr starke Ströme erfordert (wegen der vielen Drahtwindungen, die sie passiren, und wegen der bedeutenden Kraft, welche die zu erzeugenden Elektromagnete haben müssen, damit die Ankerbebel gehörig ihre Arbeit verrichten). Allein man reicht auch mit eben so schwachen, ja mit noch weit schwächeren Strömen als beim Bain'schen Systeme aus, wenn, wie es Morse selbst zuerst in Vorschlag und zur Ausführung gebracht hat, der Schreibapparat auf jeder Station einen Theil des Schließungskreises einer eigenen, gewöhnlich nicht geschlossenen Volta'schen Batterie (einer Lokalbatterie) bildet und mit der Leitung der Telegraphenlinie gar nicht in Verbindung steht, sondern mittelst eines in diese Leitung eingeschalteten andern Apparates, welcher der Uebertrager genannt wird und durch einen von der telegraphirenden Station kommenden ganz schwachen Strom so in Thätigkeit gesetzt wird, daß er das abwechselnde Schließen und Wiederöffnen des besagten Schließungskreises der Lokalbatterie in der Art bewerkstelligt, wie es zur gehörigen Wirksamkeit des Schreibapparates erforderlich ist . . . (†). (Uebrigens läßt sich auch eine solche Einrichtung treffen, daß die Batterie, welche auf jeder Station neben dem Signalapparat ohnehin vorhanden und, während die Station eine Depesche empfängt, ohnedies nicht in Thätigkeit ist, immer auch die Rolle der in Rede stehenden Lokalbatterie spielen kann.)

240. Anwendung des Uebertragungsprinzipes. Die zuerst von Wheatstone angegebene Anwendung eines Uebertragers (Translators) ist bereits allgemein geworden und zwar nicht blos beim Gebrauche des Morse'schen Schreibapparates, sondern auch für alle andern Signal- oder Zeichenapparate, welche, um sie mit Sicherheit auf größere Entfernungen hin in Wirksamkeit setzen zu können, eines stärkeren Stromes bedürfen, als es ohne zu kostspielige Vergrößerung der Batterien (Vermehrung der Batterie-Elemente) in solche Entfernungen zu senden möglich ist. Die Construction der Uebertrager richtet sich im Allgemeinen nach der Beschaffenheit des Signal- oder Zeichengebers: für den Morse'schen Schreibapparat ist der beste und auch überall angewendete Uebertrager das Robinson'sche Relais und zwar vorzüglich in der verbesserten Einrichtung, die es durch Stein-

heil, Halske u. s. w. nach und nach erhielt, und welche in jener Form, in der es auch auf den österreichischen Telegraphenlinien angewendet wird, durch die Fig. 452 anschaulich gemacht ist. Es ist dieses Relais der Hauptsache nach nichts

Fig. 452.



anderes als der in viel kleineren Dimensionen ausgeführte Morse'sche Apparat (Fig. 451) ohne Räderwerk und Schreibvorrichtung. Der Multiplikator m, m_1 (Figur 452), auf den die nur kleinen Eisenkerne des zu erzeugenden Elektromagnetes umgebenden Spulen, besteht aus sehr vielen Windungen eines feinen mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes. Der (eiserne) Anker a, a_1 ist auf dem längeren Arm des zweiarmigen (messingenen) Hebels bb_1 festgeschraubt; dieser ist um die Axe c, die mit ihren kegelförmig zugespitzten Enden in entsprechend ausgehöhlten, von dem Ständer d getragenen Schrauben 1, 2 läuft, sehr leicht beweglich, und durch die den kürzeren Arm b_1 des Hebels abwärtsziehende Spiralfeder f wird der Anker immer von den obern Enden der Eisenkerne weggezogen. Man kann nun durch entsprechende Spannung dieser einerseits an dem Hebelarme b_1 und andererseits an dem Messingstücke g festgemachten Feder f mittelst der das Messingstück g längst der Messingsäule **S** auf- und abführenden Mikrometerschraube **s** es leicht dahin bringen, daß der Anker den besagten Eisenkern-Enden (Polen) sehr nahe steht (der Abstand beträgt in der Regel etwa nur die Dicke eines Papierblattes, richtet sich übrigens nach der Intensität des Stromes), daß er (der Anker) zugleich sammt dem ihn tragenden längern Hebelarm b fast ganz äquilibrirt ist, daß somit selbst der geringe Magnetismus, der in den Eisenkernen hervorgerufen wird, wenn auch nur ein sehr schwacher Strom die Multiplikator-Windungen durchzieht, zur Anziehung des Ankers von Seite der Pole des gebildeten Elektromagnetes hinreicht und endlich, daß die Feder f den Anker jedesmal von den Polen in seine vorige Stellung zurückzuziehen vermag, sobald nach Oeffnung des Stromkreises der Magnetismus wieder verschwunden ist. Es gibt daher das Relais, — wenn es in den Leitungskreis einer Telegraphenlinie an der Stelle des Morse'schen Schreibapparates und zwar so eingeschaltet ist, daß die Drähte der Leitung (wie **D**, **E** Fig. 450) anstatt in die Klemmschrauben 1, 2 des Morse-Apparates, in die Klemmen **n**, **o** des Relais, welche mit den Multiplikator-Drahtenden desselben in leitender Verbindung stehen, eingespannt sind — genau die nämlichen Zeichen, wie der Morse-Apparat (der Hebel macht dieselben Bewegungen wie bei diesem) und diese Zeichen können durch einen äußerst schwachen Strom, also mittelst verhältnißmäßig kleinen Batterien aus großen Entfernungen her, erzielt werden. Da dieser Strom jedoch viel zu schwach ist, um durch denselben die Zeichen zugleich aufzuschreiben (als Combinationen von Punkten und Strichen in Papier einzudrücken), so benützt man ihn blos, um die Kette der oben (S. 512) unter (†) erwähnten Lokalbatterie zu schließen und zu öffnen und hiedurch die Bewegungen und Zeichen des Relaishebels auf den Hebel des in der Kette dieser Batterie enthaltenen Morse-Apparates regelmäßig zu übertragen, so, daß sie dann von diesem aufgeschrieben werden. Das eben besagte Schließen und Oeffnen der Lokalbatterie-Kette geschieht aber wie folgt. Der messingene Ständer **D** enthält zwei feine Schrauben **i**, **k**, zwischen deren Spitzen das Hebelende b sich auf

und ab bewegen kann. Die obere Schraube i hat eine elfenbeinerne, überhaupt eine isolirende Spitze, die untere Schraube k besteht hingegen ganz aus Metall, und ist so gestellt, daß das Hebelende b mit ihrer Spitze in Berührung kommt, wenn der Anker aa_1 von den Polen des durch den Strom erzeugten Elektromagnetes angezogen wird. In diesem Falle ist die Kette der Lokalbatterie, und zwar durch den Ankerhebel bb_1 selbst, geschlossen, da der Messingständer **D** mit der Klemmschraube p und die Säule **S** mit der Klemmschraube q leitend vereinigt ist, überdies in p der eine und in q der zweite Poldraht der Lokalbatterie eingespannt vorausgesetzt wird . . . (†). Hört der Strom die Multiplikator-Windungen m, m_1 zu durchlaufen, mithin auch die Anziehung des Ankers aa_1 auf, so zieht die Feder f den Anker und den Hebelarm b wieder in die Höhe, die Berührung zwischen diesem und der Schraube k ist aufgehoben, und somit die Kette der Lokalbatterie geöffnet. Die Schraube i begrenzt den Spielraum des Hebelarmes b nach oben und die Schraube k nach unten, und in dieser Beziehung hat diese Schraube (aus gleichem Grunde, wie S. 511 unter (†) angegeben wurde) zugleich zu verhindern, daß der Anker, wenn er vom Elektromagnete angezogen wird, mit dessen Polen völlig in Berührung komme.

Wie uns nach dem unter (†) S. 512 Gesagten einleuchtet, ist zu entsprechender Bewegung des Relaishebels aus der Ferne her ein Schlüssel oder Taster erforderlich, der so eingerichtet sein muß, daß er, 1. in den telegraphischen Leitungskreis eingeschaltet, auch wenn er ruht, diesen Kreis stets geschlossen erhält, damit jeden Augenblick von einer entfernteren Station aus ein Strom durch die Leitung gesendet (telegraphirt) werden kann, und daß er 2. während nicht telegraphirt wird, die Haupt- (oder Stations-) und die Lokalbatterien ungeschlossen läßt, damit sie sich nicht ohne Zweck abnützen. Ueberdies muß er 3. in seinem Ruhezustande mit dem Uebertrager in gehöriger Verbindung stehen, damit er den von einer andern Station kommenden Strom durch den Multiplikator des Uebertragers leitet, demnach der Anker dieses letzteren angezogen, dadurch die Lokalbatterie geschlossen und der Morse-Apparat in Thätigkeit gesetzt wird; endlich 4. muß man mittelst desselben jeden Augenblick die Stationsbatterie (dort wo er sich befindet) in den Leitungskreis einschließen und dadurch nach einer andern Station hin den Strom senden (telegraphiren) können, wobei gleichzeitig seine Verbindung mit dem Uebertrager derselben (telegraphirenden, die Depesche absendenden) Station aufgehoben werden muß, damit der Strom von der Batterie, die ihn liefert, direkt nach der entfernten Station geht, ohne erst den Uebertrager der telegraphirenden Station durchlaufen zu müssen. Durch Letzteres wird erreicht, daß das Relais und der Morse'sche Schreibapparat auf der telegraphirenden Station stille stehen und nur auf der die Depesche empfangenden Station in Thätigkeit sind . . . . (138)

Schlüssel, die alle diese Bedingungen erfüllen, sind bisher schon verschiedene construirt worden; wir wollen hier den in jeder Beziehung entsprechenden und zugleich sehr einfachen Schlüssel kennen lernen, welcher von Halske in Berlin construirt, auf den Telegraphenlinien zwischen Berlin und Hamburg, so wie zwischen Berlin, Minden und Köln in Anwendung und in Fig. 453 abgebildet ist. **AA** ist eine hölzerne Gestellplatte und **BB** eine Messingplatte, deren zwei vertikale Flügel die Lager der auf Körnern laufenden

Fig. 453.

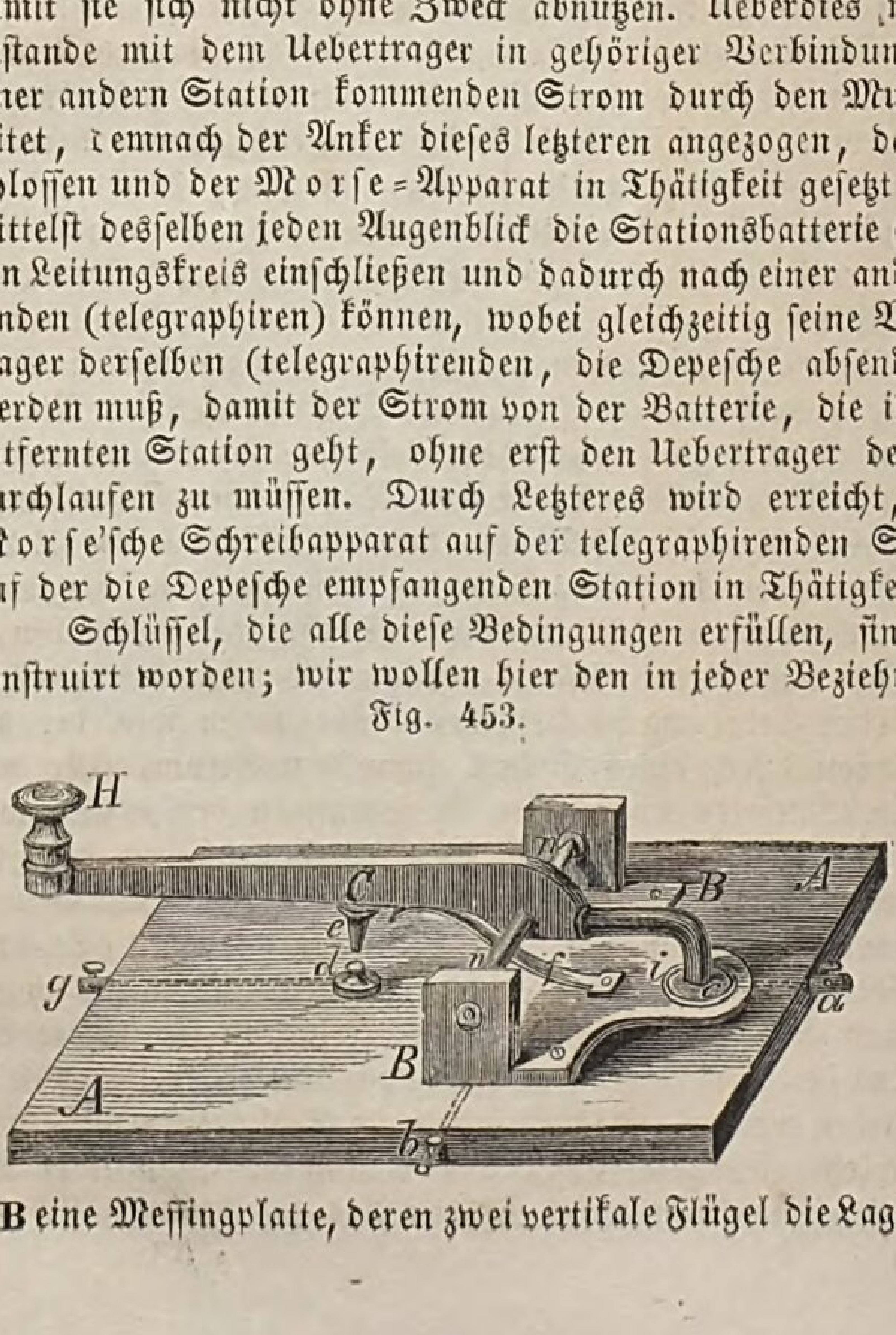
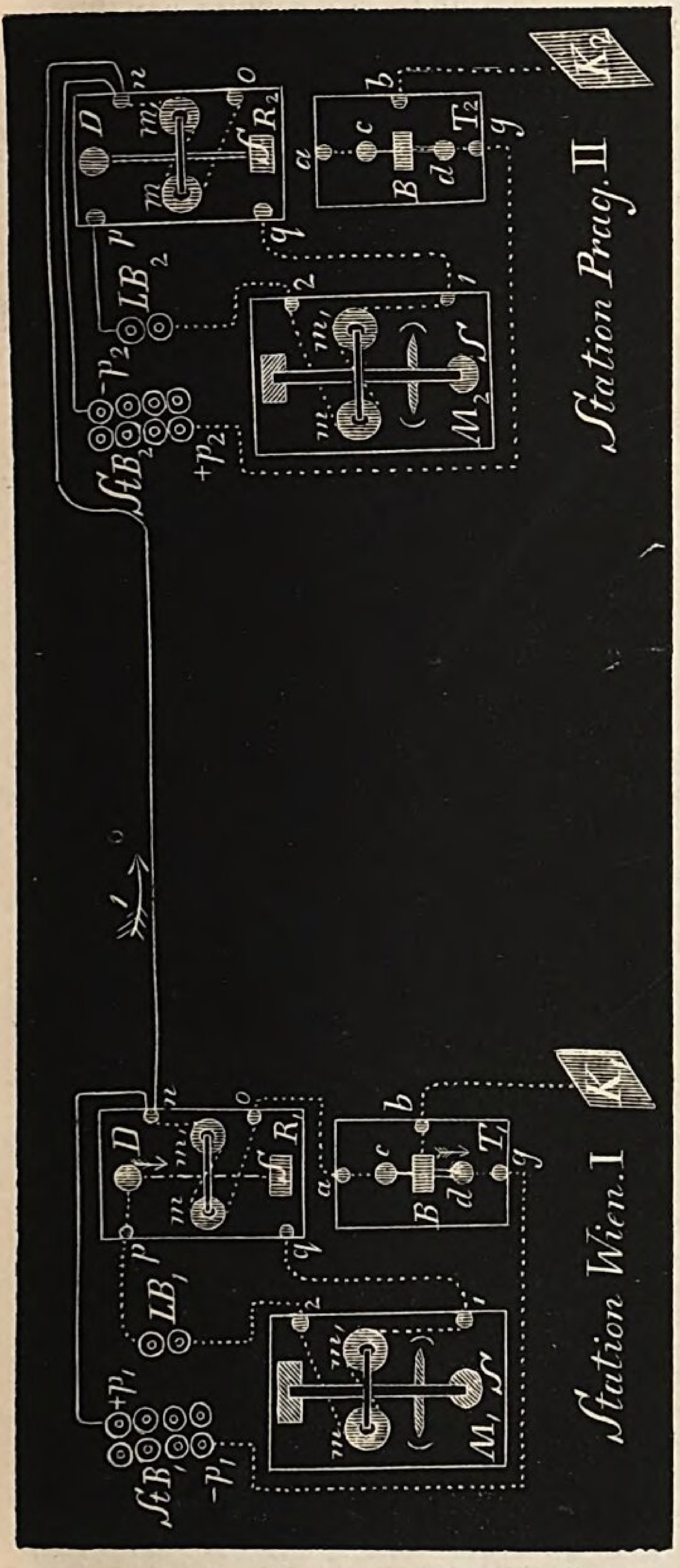


Fig. 454.



Axe nn eines messingnen 2armigen Hebels **HCi** enthalten, so daß dieser fortwährend in metallischer Verbindung mit der Platte **BB** u. mit der Klemmschraube b steht, die durch einen in die Platte **AA** eingelassenen Draht mit dieser verbunden ist. Gerade unter dem abwärts gebogenen Hebelende **i** ist in **BB** ein kreisrundes Messingstück c eingesetzt, welches durch eine dasselbe einschließende Röhre aus Elfenbein von der Messingplatte **BB** isolirt ist und wieder durch einen an der untern Fläche von **AA** eingelassenen Draht mit der Klemmschraube a leitend vereinigt ist. Der längere Arm des Hebels **HCi** hat an seiner unteren Seite einen metallischen Vorsprung (Hammer) e, und unter diesem ist auf der Holzplatte ein metallener Amboß d festgemacht, der mit der Klemmschraube g in leitender Verbindung steht, und von welchem, wenn man das Hebelende **H** nicht niederdrückt, der Hammer e durch den aufwärts gerichteten Druck der Feder f entfernt, während gleichzeitig durch denselben Druck der abwärts gebogene Hebelarm **i** mit dem Metallstücke **c** in inniger Berührung, mithin mit der Klemmschraube **a** in leitender Verbindung gehalten wird. In dieser Stellung heißt man den Schlüssel o f f e n. Durch Niederdrücken des längeren Hebelarmes am Handgriffe **H** wird **i** und c a u ß e r, hingegen d und e in Berührung gebracht, somit die leitende Verbindung zwischen Hebel und Klemmschraube a aufgehoben, zwischen ihm und der Klemmschraube g aber hergestellt . . . (†), und in dieser Position heißt der Schlüssel g e s c h l o s s e n.

Die Fig. 454 macht nun die erforderliche Verbindung und das Zusammenwirken der Stations- (Haupt-) Batterien **St.B$_1$**, **StB$_2$**, der Lokalbatterien **LB$_1$**, **LB$_2$**, der M o r s e'schen Schreibapparate **M$_1$**, **M$_2$**, der zwei Relais **R$_1$**, **R$_2$** und der Schlüssel oder Taster **T$_1$**, **T$_2$** für zwei Stationen (z. B. Wien und Prag) ersichtlich. Bei allen diesen Apparaten sind für ihre einzelnen Theile der leichteren Orientirung wegen dieselben Buchstaben beibehalten, mit denen sie in den diese Apparate einzeln darstellenden Figuren 451, 452 und 453 bezeichnet sind. Die von der einen Station zur andern und durch die Apparate beider Stationen laufende einfache continuirliche Linie macht den ganzen Leitungskreis für den **I.** Fall ersichtlich, nämlich für den Fall, daß nicht telegraphirt wird, mithin die Schlüssel auf beiden Statio-

33*

nen offen sind; es wird hingegen dieser Leitungskreis dargestellt durch die aus abwechselnden Punkten und Strichen zusammengesetzte Linie, wenn Wien von Prag ein Zeichen empfängt (II. Fall), und durch die doppelte Linie, während ein Zeichen von Wien nach Prag geht (III. Fall). Es erscheint jede dieser Linien nur in den Apparaten an den Stellen unterbrochen, die schon in diesen Apparaten selbst für immer leitend verbunden sind, welche Verbindung daher in allen erwähnten Fällen einen Theil des Leitungskreises ausmacht und in der Figur überall durch einfach punktirte Linien angezeigt ist. Die Richtung des Stromes ist immer durch einen der betreffenden Linie beigesetzten Pfeil angedeutet.

Zu noch besserem Verständniß mag überdies folgende Beschreibung dienen:

I. Fall. In diesem geht die Leitung von K_1 (der einen der zwei in die Erde versenkten Ku=pferplatten K_1, K_2) durch bBca des Tasters T_1, von hier durch omm_1n des Relais R_1 von diesem unter Ausschluß der Batterien StB_1 und LB_1 (weil die von n durch StB_1 nach g und d gehende Leitung in d endigt) nach Pfeil 1 durch nmm_1o des Relais R_2 und zwar wieder mit ganz glei=cher Ausschließung der Batterien wie auf der Station Wien; von o geht weiter die Leitung nach acBb des Tasters T_2, aus diesem in die Erdplatte K_2 und von hier endlich durch die Erde zur Erdplatte K_1 zurück.

II. Fall, zu welchem die aus abwechselnden Punkten und Strichen bestehende Linie gehört. Der Strom geht da von + p_2 der Batterie StB_2 nach g des Tasters T_2, von g, da der Hebel dieses Tasters jetzt niedergedrückt, mithin gemäß (+) S. 515 B mit d in hingegen B und c außer Verbindung gesetzt ist, nach dBb in die Kupferplatte K_2, aus dieser durch die Erde nach der zweiten Kupferplatte K_1, von hier durch bBca des Tasters T_1, dann weiter durch die Klemm=schraube o, den Multiplikator m, m_1 des Relais R_1 nach der Klemmschraube n; von hier durch den Leitungsdraht (Pfeil 1) nach der Schraubenklemme n in R_2 und aus dieser zum − p_2 der Batterie StB_2 zurück. (Von n in R_2 durch m_1mo nach a in T_2 u. s. f. kann der Strom nicht gehen, weil der Hebel des Tasters T_2 niedergedrückt, dadurch, nach S. 515 unter (+) Gesagtem B und c desselben Tasters außer Verbindung gesetzt und mithin die Stromleitung bei c zu Ende ist.) Da beim Durchgange des Stromes durch m, m_1 in R_1 die Eisenkerne in m, m_1 zu einen Elektromagnet werden, so erfolgt Anziehung des Ankers von R_1, somit, gemäß (+) S. 514, Schließung der Lokalbatterie LB_1 durch den die Verbindung zwischen D und S in R_1 herstellenden Relaishebel, daher auch ein Zeichen am Morse=Apparat M_1.

III. Fall. In diesem Falle, für welchen die durch doppelte Linien angedeuteten Leitungen eigens herzustellen sind und der Schlüssel T_1 geschlossen wird, während T_2 offen bleibt, nimmt der Strom von + p_1 der Batterie StB_1 den Weg nach n in R_1, durch die Drahtleitung (Pfeil 1) nach n in R_2, von da durch den Multiplikator m_1, m nach o in R_2, ferner nach acBb im offenen Schlüssel T_2, weiter in die Erdplatte K_2, durch die Erde nach K_1 und von hier durch bBdg des geschlossenen Schlüssels T_1 zum − p_1 der Batterie StB_1. Für sich einleuchtend ist, daß der von + p_1 nach n in R_1 gelangende Strom von n auf dem Wege nach m_1moac u. s. f. nicht weiter kann, da dieser Weg gemäß (+) S. 515 mit c endigt, und eben so bedarf es keiner Erwähnung, daß, indem der Strom den Multiplikator mm_1 des Relais R_2 durchzieht, zu Folge Anziehung des Ankers und hierdurch bewirkter Herstellung der leitenden Verbindung zwischen D und S (mittelst des Ankerhebels) dieses Relais, die Lokalbatterie LB_2 geschlossen und der in ihrem Strom=kreise enthaltene Morse=Apparat M_2 (durch Eindrücken seines Schreibstiftes s in den Pa=pierstreifen) ein Zeichen zu geben veranlaßt wird. Eben so klar ist es, daß, wenn man den niedergedrückten Tasterhebel, z. B. auf der Station Wien, wieder ausläßt, derselbe durch die Feder f (Fig. 453) emporgedrückt, der Taster somit wieder geöffnet in dem ganzen Lei=tungskreise der Ruhezustand wieder hergestellt wird und in der Station Prag der Schreib=stift vom Papierstreifen wieder abfällt; daß eben so lange, als der Wiener Signalist seinen Taster geschlossen hält, der Prager Schreibstift gegen seinen Papierstreifen drückt, daher, wenn dieser (durch das Räderwerk am Morse=Apparat) fortgezogen wird, auf demselben einen entsprechend langen vertieften Strich macht, während nur ein Punkt entsteht, wenn der Taster nur einen Augenblick geschlossen bleibt. Durch Combinationen solcher Striche und Punkte ist, wie wir schon aus dem Früheren her wissen, das Alphabet und sind die Ziffern für die Sprache mit dem Morse'schen Telegraphen gebildet. Von den möglichen Combinationen empfehlen sich unter andern erfahrungsgemäß als sehr zweckmäßig die folgenden:

a·—	d—··	i··	o·—··	s···	w·——	1·——·	6······	?··—··
ä·—·—	e·	k—·—	ö·—···	t—	x··—··	2··——·	7——··	!—···
b—···	f··—·	l·—··	p·····	u··—	y——··	3···—·	8—····	,—···
c—·—·	g——·	m——	q———	ü··——	z·——··	4····—	9—··—	
ch—·—··	h····	n—·	r·—·	v···—		5———	0—	

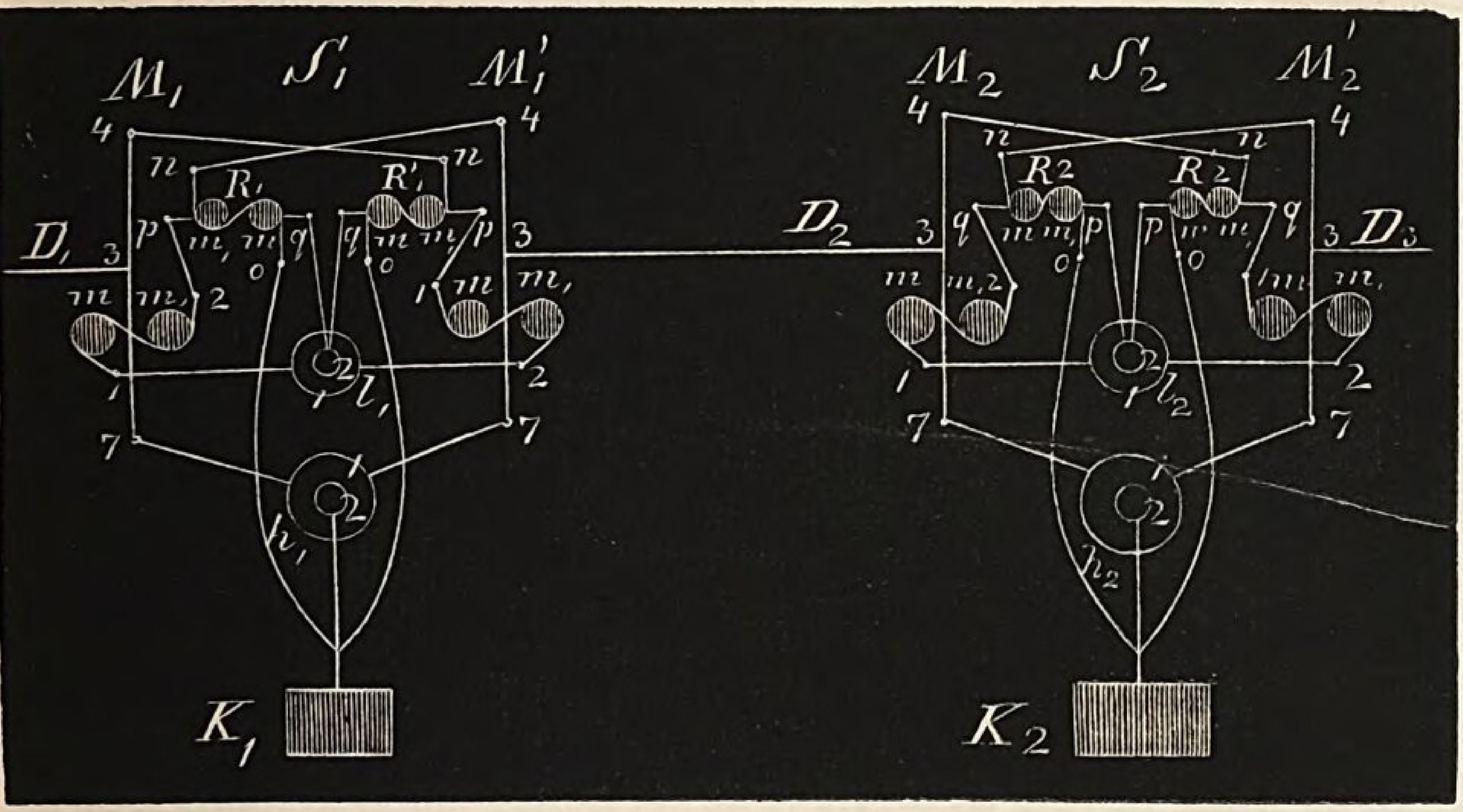
Uebrigens mögen hier noch folgende Bemerkungen Platz finden. Soll z. B. von Wien nach Prag eine Depesche abgesendet werden, so hämmert der Wiener Signalist mit dem Hebel seines Schlüssels (schließt und öffnet abwechselnd seinen Schlüssel) rasch mehrere Male hintereinander. Das dadurch in Prag bewirkte Angezogenwerden und Abfallen der Anker und Ankerhebel am Relais und Schreibapparate ist mit solchem Geräusche verbunden, daß dieses hinreichend ist, als Signal des Anfangs der Correspondenz zu dienen. Wie der Prager Signalist dieses Geräusch vernimmt, setzt er daher das Räderwerk seines Schreibapparates in Gang und so den Papierstreifen in Bewegung. Alsbald fängt der Wiener Signalist an, die Depesche abzusenden; diese erscheint in Prag auf dem Papierstreifen und kann, wie der Papierstreifen zwischen den Walzen (w, v Fig. 451) des Schreibapparates hervorkömmt, gelesen werden. Sobald die Anker und Ankerhebel zu klappen aufhören oder auf dem Papierstreifen eine längere Reihe dicht aneinander gedrängter Punkte oder ein langer Strich als Signal, daß die Depesche beendigt ist, erscheint, arretirt der Prager Telegraphist das Räderwerk seines Schreibapparates (wozu, nebenbei gesagt, der Bremsbogen γ (Fig. 451) dienen kann, der sich mittelst des Hebels $\gamma\delta$ an den Umfang der auf der Axe des Windflügels r festgemachten Scheibe ε andrücken läßt) und gibt sofort durch rasches und oftmaliges Hämmern mit dem Hebel seines Schlüssels das Zeichen, daß er antworten will, sei es auch nur, um zu melden, daß er die Depesche verstanden oder nicht verstanden habe. Auf dieses Zeichen hin löst der Wiener Telegraphist das Räderwerk seines Schreibapparates aus und setzt dadurch seinen Papierstreifen zur Aufnahme der Nachricht von Prag her in Bewegung. Man mag den Hebel des Schlüssels noch so schnell bewegen, so folgen doch die betreffenden Theile des Relais und des Schreibapparates, eine sorgfältige Construction der letzteren vorausgesetzt, den Bewegungen des in großen Distanzen befindlichen Schlüssels mit bewunderungswürdiger Genauigkeit und Regelmäßigkeit; man kann so in der Stunde durchschnittlich 3600 Buchstaben vollkommen klar und verständlich signalisiren.

Wir wissen nun aus dem Vorhergehenden, daß durch Niederdrücken des Tasterhebels auf einer Station (I) von der Hauptbatterie dieser letzteren der Strom nach einer andern Station (II) hingeleitet, dadurch auf dieser Station das Relais bewegt, mittelst desselben die Lokalbatterie in Thätigkeit gesetzt und durch sie der Morse-Apparat die mit dem Taster in I gegebenen Zeichen aufschreiben gemacht wird. Da der Draht, durch den die besagte Leitung des Stromes geschieht, er mag in der Luft über hölzerne Pfähle, oder mit einer Hülle aus Gutta Percha oder einem andern sogenannten isolirenden, eigentlich aber nur schlecht leitenden Stoffe versehen, unterirdisch geführt sein, nie völlig isolirt ist, sondern durch die Luft, die Pfähle und die andern Unterstützungspunkte, so wie durch die besagten Hüllen immer Ableitungen erfährt; so nimmt der Strom aus diesem Grunde und weil er überdies in der Leitung einen Widerstand erfährt, mit der Entfernung von der Batterie, die ihn liefert, an Intensität fortwährend ab, und es gibt für jeden Strom selbst der stärksten Batterie eine größte Entfernung, über welche hinaus derselbe sich nicht mehr mit zu telegraphischen Zwecken noch benützbarer Intensität fortpflanzt, und diese Entfernungen bilden offenbar die Grenzen der direkten (unmittelbaren) Telegraphirung, welche aber viel zu eng sind für das in vielfacher Beziehung gewiß vorhandene Bedürfniß der fast momentanen Correspondenz in sehr große Entfernung. Wenn z. B. eine Nachricht von Triest nach Paris nicht direkt gefördert werden kann, sondern in Wien, in Oderberg, in Berlin, in Hannover, in Köln, in Verviers u. s. w. jedesmal erst gelesen und dann weiter telegraphirt (umtelegraphirt) werden muß, so bleibt sie so lange unterwegs, daß ihr Zweck verloren sein kann. Es war also, da eine gänzliche Hinwegschaffung der besagten Grenzen nicht erreichbar ist, wenigstens die möglichste Erweiterung und Hinausrückung derselben eine Hauptaufgabe in der elektrischen Telegraphie, und diese hat Steinheil in einer Weise, die kaum mehr etwas zu wünschen übrig läßt, durch eine Art der Translation (Uebertragung) gelöst, die ihrer Wesenheit nach in dem zunächst Folgenden beschrieben werden soll. Auf jeder Hauptstation (und es ist hier überall unter Hauptstation eine solche Station gemeint, wo sonst, d. i. ohne Anwendung der eben zu beschreibenden Translationsart, umtelegraphirt werden müßte) ist die Einrichtung getroffen, daß der Schreibhebel des Morse-Appa-

rates, welcher die auf der Station ankommende Depesche aufschreibt, während er an den Papierstreifen angedrückt und wieder abfallen gemacht wird, gleichzeitig die Hauptbatterie dieser Station in die Leitung der Telegraphenlinie ein- und aus derselben ausschließt . . . (1), also in dieser Beziehung die Rolle übernimmt, die der Taster auf der Station, die die Depesche empfängt, beim Weiterfördern derselben auf die nächste Station zu spielen hätte. Es wird so offenbar jedes einzelne Zeichen in dem Augenblicke, wo es auf der Station ankömmt, wieder auf die nächste Station und so fort fast momentan in die größten Entfernungen übertragen, so daß man mit der entferntesten Station beinahe eben so schnell sprechen kann wie mit der nächsten. Der Morse-Hebel hat überdies, so wie sonst der Taster, in der Zeit, wo nicht telegraphirt wird (im Ruhezustande) den Leitungskreis der Telegraphenlinie zu schließen . . . (2), ist daher auch in dieser Hinsicht Stellvertreter des Tasters. Die Funktion (2) vollführt er, indem der Morse-Apparat (Fig. 451) mittelst der Klemmschrauben 3, 4 in den Leitungskreis eingeschaltet ist, wovon die eine (3) mit dem Gestelle des Apparates, also mit dem Schreibhebel selbst, durch seine Drehaxe fg, und die zweite (4) mit dem sonst isolirten Träger k der Schraube i leitend verbunden ist, mit welcher der abwärts gehende Arm l desselben Schreibhebels im Ruhezustande in Berührung steht und, wenn das Hebelende c aufwärts bewegt wird, außer Berührung tritt. Die andere unter (1) angegebene Funktion verrichtet er, indem der Morse-Apparat in die Kette der Hauptbatterie mittelst der Klemmschrauben 6, 7 eingeschaltet ist, wovon erstere (6) mit der Fußplatte des Schreibapparat-Gestelles daher durch die Drehaxe des Schreibhebels mit diesem selbst, die andere Klemme (7) mit der sonst isolirten Messingsäule **S** in leitende Verbindung gesetzt ist. Indem nämlich (zu Folge Schließung der Lokalbatterie mittelst des Relais durch den von einer andern Station kommenden Strom) der Anker des Schreibhebels vom Elektromagnete angezogen und so der Hebel mit dem Ende d auf die Schraube 8 der Säule **S** aufschlagen gemacht wird, findet (durch den Hebel selbst) die Schließung des Stromkreises der Hauptbatterie Statt.

Um nun die in Rede stehende Translation am entsprechendsten und mit den wenigsten Umständlichkeiten zu effektuiren, sind auf jeder Hauptstation zwei Morse'sche Schreibapparate erforderlich (auf jeder Mittelstation, d. i. einer Station, die nicht Anfangs- und auch nicht Endstation einer Telegraphenlinie ist, sind ohnehin immer zwei vollständige Apparate vorhanden, weil die Ketten gleichzeitig stets nach beiden Richtungen, gegen die eine und gegen die andere Endstation hin, benützbar bleiben müssen); ihre Verbindung und ihr Zusammenwirken mit den andern zum Behufe der Translation nöthigen Theilen des telegraphischen Apparates einer Hauptstation dürfte die Fig. 455 deutlich machen, welche das Schema der Translation für zwei nacheinander folgende Hauptstationen S_1 und S_2 darstellt. In dieser Figur bedeutet D_1 die Drahtleitung von einer früheren Station S_0 zur Station S_1, D_2 diese Leitung von S_1 nach S_2, D_3 die Drahtleitung von S_2 nach einer folgenden Station S_3; K_1 und K_2 sind die Erdplatten beider Stationen, M_1, M'_1 die zwei Morse-Apparate auf S_1, und M_2, M_2' die zwei derlei Apparate auf S_2. Auf jedem Morse bedeutet m, m_1 den Multiplikator und es sind (wie in Fig. 451 und 452) 1, 2 die Verbindungspunkte des Multiplikators m, m_1 mit der Lokalbatterie l_1, 3 ist der Verbindungspunkt der Leitung mit dem Gestelle des Morse und daher mit der Drehaxe des Schreibhebels, 4 die Verbindungsstelle mit der Schraube k (Fig. 451), an welcher der abwärtsgehende Arm l des Schreibhebels während der Ruhelage des letzteren ansteht, 7 die Verbindungsstelle mit der Schraube 8 (der Säule **S**), die den Stützpunkt des Hebels während seiner Schreiblage bildet und durch deren Berührung von Seite des Hebels die Hauptbatterie der Station in die Leitung eingeschaltet und geschlossen wird. R_1, R_1' bedeuten die zwei Relais auf der einen und R_2, R_2' jene auf der zweiten Station; p, q sind an jedem Relais die Verbindungs-

Fig. 455.



punkte desselben mit der Lokalbatterie (wie in Fig. 452); h_1, h_2 endlich bedeuten die Haupt-, und l_1, l_2 die Lokalbatterien beider Stationen.

Für den Fall nun, daß von der Station S_0 her telegraphirt wird, geht der Strom von

D_1 — (nach) $3M_1$ — $4M_1$ — nR_1' — oR'_1 — K_1 — K_0 u. s. w. zurück nach S_0.

Dadurch wird der Hebel von R_1' angezogen, die Lokalbatterie l_1 geschlossen und ihr Strom geht von

$1l_1$ — $2M_1'$ — $1M_1'$ — pR_1' — qR_1' — $2l_1$ — $1l_1$

wobei M'_1 die von D_1 kommenden Zeichen schreibt. Indem aber der Hebel von M'_1 niedergezogen wird, verbindet er leitend die Punkte $7M_1'$ mit $3M_1'$, dadurch die Hauptbatterie h_1 mit dem Leitungsdrahte D_2, und der Strom dieser Batterie geht nun von

$1h_1$—$7M_1'$—$3M_1'$—D_2—$3M_2$—$4M_2$—nR_2'—oR_2'—K_2—K_1—$2h_1$—$1h_1$.

Dadurch ist der Hebel des Relais R_2' angezogen, der Strom der Lokalbatterie l_2 geschlossen, der Hebel von M_2' verbindet die Hauptbatterie h_2 mit D_3 und K_2 und schreibt zugleich das von S_1 hergekommene Zeichen auf u. s. f. Das Zeichen, welches durch Niederdrücken des Hebels eines M' gegeben wird (gleichviel ob dieses Niederdrücken, indem man sich des besagten Hebels anstatt des Tasterhebels bedient, mit der Hand oder aber durch den Strom von einer vorhergehenden Station her geschieht), läuft also von S_0 nach S_1, S_2, S_3 u. s. w. fort.

Wird der Hebel eines M, z. B. des M_2 der Station S_2, niedergedrückt, so geht der Strom von

$1h_2$—$7M_2$—$3M_2$—D_2—$3M_1'$—$4M_1'$—nR_1—oR_1—K_1—K_2—$2h_2$—$1h_2$.

Demnach schließt der Hebel von R_1 die Lokalbatterie l_1 auf der Station S_1, und der Lokalstrom auf dieser Station geht von

$1l_1$ — $1M_1$ — $2M_1$ — pR_1 — qR_1 — $2l_1$ — $1l_1$.

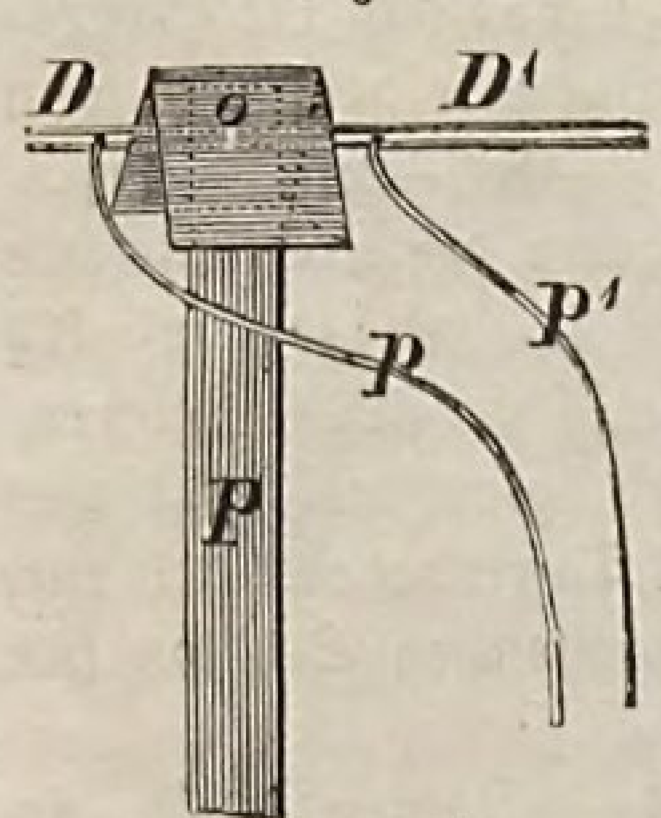
Hiedurch wird der Schreibhebel von M_1 angezogen, verbindet $7M_1$ mit $3M_1$, und hierdurch, indem er zugleich aufschreibt, die Hauptbatterie h_1 auf eine gewiß von selbst verständliche Weise mit D_1, so daß das Zeichen von der Station S_2 nach S_1, S_0 u. s. w., also in der zur vorigen entgegengesetzten Richtung die Telegraphenlinie durchläuft.

Den Schluß des Kapitels über elektrische Telegraphie mag eine kurze Betrachtung des Einflusses der Luftelektrizität auf die elektromagnetischen Telegraphen ma-

chen. Wenn Gewitterwolken am Himmel stehen oder selbst in beträchtlichen Entfernungen an der oder über die Telegraphenlinie hinziehen, nach heißen Tagen, vor Ausbruch eines Regens oder Hagels u. s. w., treten in den Leitungsdrähten oft so starke Strömungen auf, daß durch diese die Signalapparate in Thätigkeit gesetzt und Zeichen gegeben werden. Im ersten Augenblicke scheint dies eine Quelle von Irrungen sein zu können; wenn man aber bedenkt, daß den durch die eben erwähnten Ursachen erzeugten Zeichen jene regelmäßige, ruhige Aufeinanderfolge gänzlich mangeln muß, die bei den wirklichen telegraphischen Zeichen stets vorhanden ist, und daß beim ordentlichen Telegraphiren der eigentlichen Depesche immer das Aufruf- (Allarm-) Zeichen, dann das Zeichen der Station, von der aus und auf welche hin telegraphirt werden soll, vorausgeht, welche Zeichen eine Gewitterwolke oder dgl. natürlich nicht geben kann; so sieht man ein, daß bei gehöriger Achtsamkeit der Stationsbeamten wirkliche Täuschungen durch atmosphärische Elektrizität nicht leicht vorkommen können. Es kann diese das Telegraphiren unsicher, ja selbst für einige Zeit ganz unmöglich machen, heftigere Gewitter können, wie es auch schon oft an verschiedenen Orten geschehen ist, indem sie sich in und durch die Drähte entladen oder darin aus der Ferne her kräftige Ströme hervorrufen, den Telegraphen mehr weniger beschädigen oder zerstören und die bei demselben beschäftigten Personen gefährden; aber Ursache von Mißverständnissen und Irrungen werden sie gewiß eben so wenig als die Luftelektrizität werden, von welcher an einem spätern Orte weiter geredet werden soll.

Um die Beamten, die Wächter und die Apparate der Telegraphen gegen die besagte Gefahr zu schützen, hat man telegraphische Blitzableiter, welche sich auf die zuerst von Steinheil gemachte Beobachtung gründen, daß die atmosphärische ganz so wie die Reibungs-Elektrizität viel mehr geneigt ist, auf kurzem Wege in Funken überzuspringen, als einen langen, wenn auch ununterbrochenen Weg zu nehmen . . . (1), während hingegen der galvanische Strom eher eine continuirliche Kette von vielen hundert Meilen durchlauft, als er durch Ueberspringen über eine in der Leitung befindliche noch so kleine Unterbrechung seinen Kreislauf vollendet. Die einfachste Einrichtung eines auf diesem Prinzipe beruhenden telegraphischen Blitzableiters ist nun folgende, zuerst von Farbely ausgeführte (Fig. 456). In einiger Entfernung vor oder hinter dem Stationsgebäude ist die fortlaufende Leitung in zwei Theile D, D_1 getrennt, und diese sind auf einem starken Pfahle P unter einem Schieferdächelchen so angebracht, daß die Enden beider Theile um einen ganz kleinen Zwischenraum o (etwa von ½ Millimeter) getrennt einander gegenüberstehen. Zu beiden Seiten des Pfahles sind an die Hauptleitung zwei, wenigsten 20 Fuß lange, feine Kupferdrähte p, p_1 angelöthet, die in das Stationszimmer hineingeführt und dort mit dem Telegraphenapparate verbunden sind. Die Entladungen der atmosphärischen Elektrizität werden nun bei o, von dem einen Ende der Leitung zum andern hin, vor sich und mithin an der Station selbst und ihren Apparaten vorüber gehen, ohne daß sie, gemäß (1) den weit längern Weg durch die dünnen Drähte p, p_1 und durch die Drahtgewinde der mit diesen in Verbindung stehenden Apparate nehmen. Im allerschlimmsten Falle würden die dünnen Drähte p, p_1 abgeschmolzen, die Hauptentladung aber würde stets durch den Leitungsdraht D, D_1 über o hin an dem Gebäude vorübergehen. Sicherer ist es noch, jedes der zwei Enden der Leitungstheile D, D_1 in der Mitte einer Kupferplatte und zwar senkrecht gegen ihre Ebene festzumachen, die zwei Kupferplatten an dem Pfahle einander parallel und senkrecht auf die Leitung zu befestigen, so daß sie von einander isolirt sind und ihre freien Flächen einander in sehr geringer Entfernung gegenüber stehen, und endlich von jeder Platte einen Leitungsdraht zu den betreffenden Telegraphenapparat gehen zu lassen.

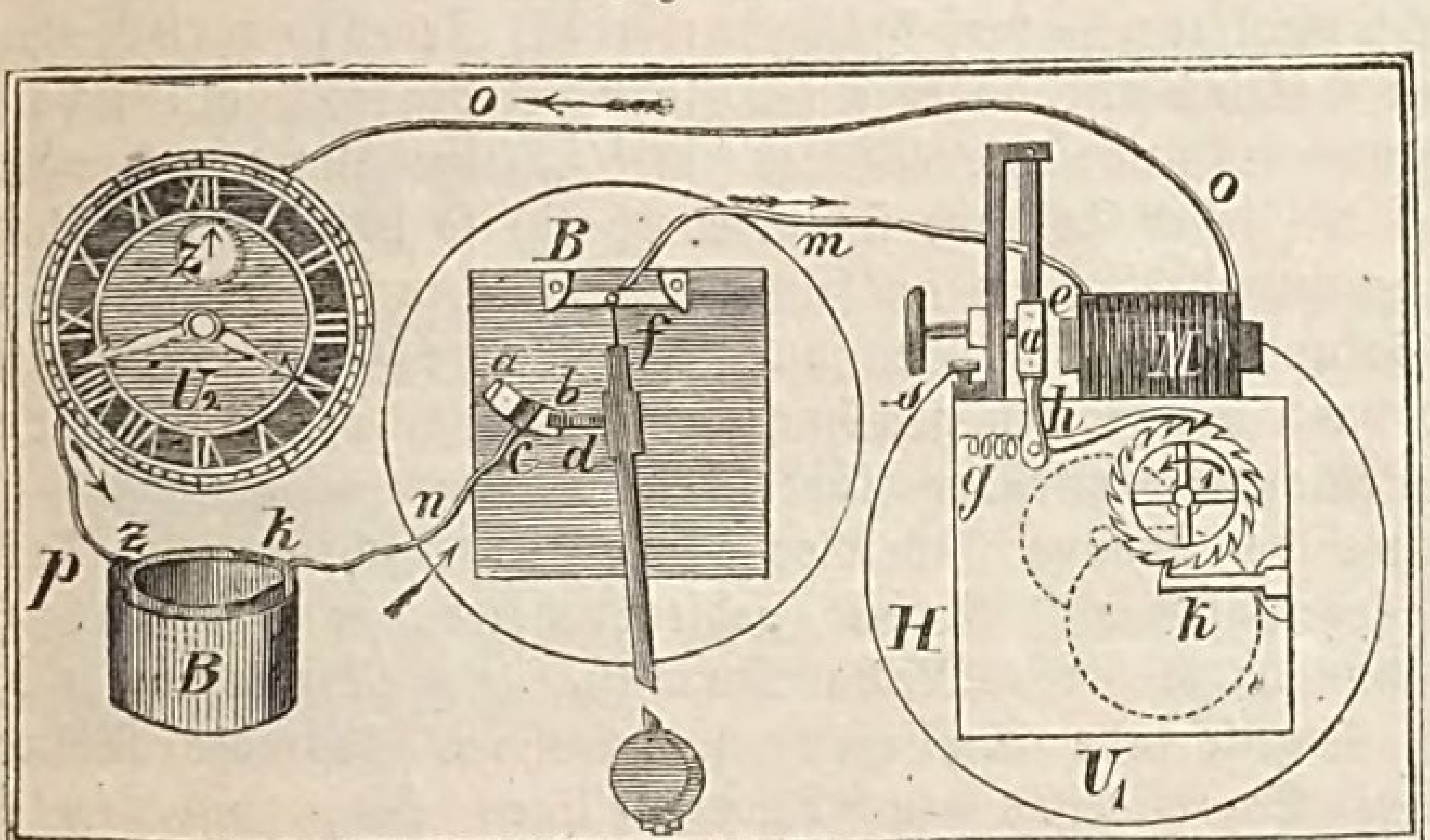
Fig. 456.



241. Elektromagnetische Uhren. Chronoskop. Eine sehr schöne und wichtige Anwendung fand der Galvanismus und Elektromagnetismus bei den elektrischen Uhren und dem Chronoskope. Die elektrischen Uhren zer-

fallen in zwei Klassen. Die in die erste Klasse gehörigen sind nur Zeit-Telegraphen, indem bei denselben eine richtig gehende, durch Gewichte oder Federkraft im Gange erhaltene und an einem passenden Orte aufgestellte Uhr (Normaluhr) ihre Zeit blos auf andere, entfernte, mit ihr durch einen Leitungsdraht verbundene, nur uhrähnliche Apparate (sekundäre Uhren) überträgt; die zweite Klasse bilden Uhren, welche selbst, anstatt durch Gewichte oder Federkraft, durch galvanische oder magnetische Kraft in Gang gesetzt und darin erhalten werden. Die Zeit-Telegraphen, zu welchen wieder zuerst Steinheil (1839) den Gedanken faßte, bieten den großen Vortheil, daß sich die einzelnen Wohnungen und Lokalitäten großer, z. B. öffentlicher Gebäude oder auch ganzer Stadtbezirke, mit Zeitanzeigern versehen lassen, welche keine eigentlichen Uhren, sondern nur einfache Zeigerwerke sind, die nicht leicht aus der Ordnung kommen können, viel weniger kostspielig sind als wirkliche Uhren, kein Aufziehen und Richten bedürfen und doch stets ganz übereinstimmend genaue Zeit anzeigen, und daß zu allen Diesem nur eine einzige richtig gehende Uhr erforderlich ist. Zur Verdeutlichung des Wesens eines Zeit-Telegraphen sollen hier eine elektromagnetische Normaluhr sammt einem Zeigerwerke (einer sekundären Uhr) vom Edinburgher Mechaniker Bain und derlei Uhren von Wheatstone (der fast gleichzeitig mit Steinheil auf die Idee der elektrischen Uhren und zu ihrer Ausführung kam) beschrieben werden. Das Bain'sche System ist in Fig. 457 anschaulich gemacht. **B** ist die hintere Seite einer gewöhnlichen guten Gewicht- oder Federuhr, die als Normaluhr dient, und woran das Pendel halbe Sekunden schlägt. ab ist ein Elfenbeinstreifen, der in der Mitte ein Kupferstück c eingelegt enthält. Die metallene Pendelstange trägt eine an ihr festgemachte Metallfeder d, die mit dem freien Ende auf den Elfenbeinstreifen ab hingleitet und bei der höchsten Pendellage zur Linken das Kupferstück c berührt, welches durch einen Draht n mit dem + Pole **K** einer Batterie **B** in Verbindung steht. Von der Aufhängefeder f des Pendels geht ein Draht m zu dem Elektromagnete **M** der ersten sekundären Uhr U_1 (die ohne Zifferblatt dargestellt ist), und ist mit dem einen Ende der Magnetisirungsspirale von **M** vereinigt, während vom zweiten Ende dieser Spirale ein Draht oo zu dem einen Ende der Magnetisirungsspirale des mit **M** gleichbeschaffenen Elektromagnetes einer zweiten sekundären Uhr U_2 (von der nur das Zifferblatt dargestellt ist) und von dem zweiten Ende der Magnetisirungsspirale von U_2 ein Draht p zum — Pol **Z** der Batterie **B** geht. Ganz in derselben Art, wie die Magnetisirungsspirale von U_1 zwischen den Drähten m und oo eingeschaltet ist, hat man sich zwischen U_1 und U_2 in die Leitung oo auch die übrigen, in Gang zu setzenden sekundären Uhren eingeschaltet zu denken. Es werden somit die Magnetisirungsspiralen aller dieser sekundären Uhren gleichzeitig vom Strome, dessen Richtung durch die Pfeile angezeigt ist, durchzogen, sobald durch den Contact der Feder d mit dem Kupferstücke c die Batterie geschlossen wird. Da während jedes Hin- und Herganges des Pendels der Normaluhr eine ganze Sekunde verfließt und dabei die Feder d nur

Fig. 457.



einmal, nämlich wenn das Pendel links die höchste Lage hat, auf das Metallstück c zu stehen kömmt; so wird offenbar der Strom während jeder Sekunde nur auf einen Augenblick und zwar mit Anfang jeder Sekunde hergestellt und durchzieht in demselben Momente alle in der Leitung moo eingeschalteten sekundären Uhren.

Die innere Einrichtung einer solchen Uhr ist in der Zeichnung bei U_1 zu sehen. M ist die schon öfter erwähnte Magnetisirungsspirale des Elektromagneten und e dessen Kern aus weichem Eisen; a der an einer Feder leicht beweglich aufgehängte Anker des Elektromagneten; s eine Schraube zur Regulirung der Gangweite des Ankers und des an demselben befestigten Hakens h, der in das mit 60 Zähnen versehene Rad 1 eingreift und zur Bewegung dieses Rades dient, während der ebenfalls in die Zähne dieses Rades eingreifende Sperrhaken k jede rückgängige Bewegung desselben zu verhindern hat. Der Gang der Uhren erfolgt nun in nachstehender Weise. Sobald das Pendel beim Anfang der 1. Sekunde nach der Linken bewegt wird, kömmt die Feder d mit dem Kupferstücke c in Berührung und die Batterie wird geschlossen. Es wird daher in allen sekundären Uhren gleichzeitig der Anker a vom Eisenkerne e angezogen, und es gleitet der Haken h, ohne das Rad 1 bewegen zu können, über den nächsten Zahn dieses Rades hinweg und legt sich in die folgende Zahnlücke ein. Sobald das Pendel nach der Rechten zurückschwingt, mithin die Feder d das Metallstück c verläßt und auf's Elfenbein kommt, wird der Strom unterbrochen, und es entfernen sich daher in allen sekundären Uhren die Anker a von den Eisenkernen e, indem sie theils vermöge ihres eigenen Gewichtes abfallen, theils durch die Spiralfeder g zurückgezogen werden. Jeder so zurückgehende Anker zieht dabei seinen Haken h und dieser einen Zahn des Rades 1 mit sich, so daß dieses in der Richtung des beigesetzten Pfeiles um $^1/_{60}$ seines Umfanges gedreht wird. Da dieses Spiel mit jeder Sekunde sich wiederholt, so hat sich das Rad 1 nach einer Minute ganz umgedreht; ein an seiner Axe angebrachter Zeiger z (in U_2) gibt demnach die Sekunden an. Die Bewegung des Minuten- und Stundenzeigers (2, 3 in U_2) wird dann wie bei den gewöhnlichen Uhren durch das Sekundenrad mittelst passender in einander greifender Räder bewirkt.

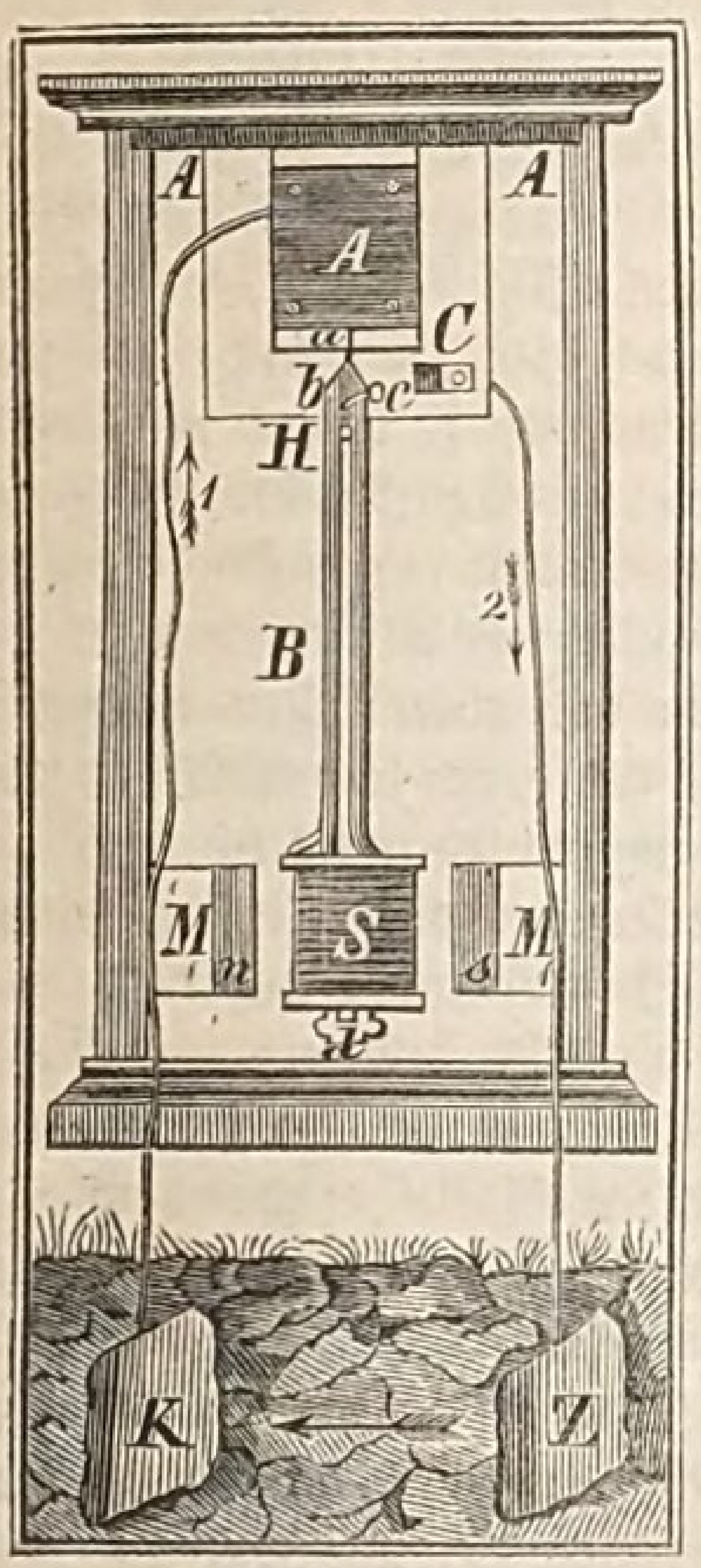
Das Wheatstone'sche System, welches dem eben beschriebenen Bain-schen voranging und jedenfalls als Vorbild gedient hatte, unterscheidet sich von diesem wesentlich nur durch jenen Mechanismus an der Normaluhr, welcher das regelmäßig abwechselnde Schließen und Oeffnen des die sekundären Uhren enthaltenden Stromkreises zu bewerkstelligen hat, und welcher in Folgendem besteht. An der Steigradwelle der Normaluhr, deren Pendel Sekunden schlagend vorausgesetzt wird, ist ein kleines messingenes Rad (Unterbrechungsrad) mit 60 Zähnen festgemacht, deren Zwischenräume mit Elfenbein so ausgefüllt sind, daß der Umfang des Rades ganz ununterbrochen ist und 60 messingene, mit eben so vielen beinernen abwechselnde Bogenstücke von gleicher Größe enthält. Eine äußerst leicht gespannte Messingfeder, die an einem Stücke Elfenbein festgeschraubt und auch sonst ganz isolirt ist, ruht mit ihrem freien Ende auf dem Umfange des in Rede stehenden Rades, während eine andere am Uhrgestelle isolirt festgemachte Feder mit dem Unterbrechungsrade an dessen Axe in Berührung steht, und die freien Enden beider eben besagten Federn sind ganz so wie die Feder f und das Metallstück c an A Fig. 457 in die Leitung moo eingeschaltet. Bei dieser Vorrichtung wird nun offenbar der Stromkreis alle Sekunden einmal geöffnet und wieder geschlossen, indem die auf dem Umkreise des Steigrades gleitende Feder immer eine halbe Sekunde lang auf einer der elfenbeinernen und die nächste halbe Sekunde hindurch auf einer der metallenen Abtheilungen des Radumfanges ruht. Dadurch empfangen und verlieren die an den sekundären Uhren vorhandenen Elektromagnete in der einen Hälfte jeder Sekunde ihre Kraft, in der zweiten Hälfte aber gewinnen sie dieselbe, und setzen

hiebei die Zeigerwerke der letztgenannten Uhren durch den in U_1, Fig. 457 dargestellten oder einen andern ähnlichen Mechanismus in Bewegung.

Im Jahre 1849 hat der Mechaniker E. Stöhrer und der Uhrmacher W. Scholle in Leipzig für Sachsen ein Patent auf ein neues derartiges System elektrischer Uhren erhalten, welches in Leipzig auch bereits eingeführt ist, indem daselbst in mehreren Straßen diese Uhren vorzüglich in Kaufläden, Comptoiren, Restaurationen und Wirthschaftslokalitäten fortwährend im Gange sind.

Als Repräsentant der zweiten Klasse elektrischer Uhren mag die in Fig. 458 abgebildete, wieder von Bain konstruirte Pendeluhr dienen. **A** ist eine Kupferplatte, an welcher mittelst einer elastischen Feder **a** ein Pendel **B** aufgehängt ist, dessen Stange am obern Ende auf einer zarten Metallfeder **b** ein Platinknöpfchen **c**, und am untern Ende eine hölzerne Spule trägt, welche ein Spiralgewinde **S** aus mit Seide übersponnenem Kupferdrahte enthält, und sich behufs Regulirung des Pendelganges an der Pendelstange mittelst einer Stellschraube **d** auf und ab bewegen läßt. Die Enden des besagten Gewindes laufen, durch den Seidenüberzug von einander und von der Pendelstange isolirt, an dieser hinauf, und das eine Ende ist mit der Aufhängefeder **a**, das andere aber mit der ebenfalls von der Pendelstange isolirten, das Platinknöpfchen **c** tragenden Metallfeder **b** innig leitend verbunden. **M**, $\mathbf{M_1}$ sind zwei an dem Uhrgestelle befestigte, permanente Stahlmagnete, welche die ungleichnamigen Pole **n**, **s** einander zukehren. **K** und **Z** ist eine Kupfer- und eine Zinkplatte, die, einander parallel gegenüberstehend, in feuchtem Erdreiche eingegraben sind und wovon vermittelst Drähte **1**, **2** erstere mit der Platte **A** und letztere mit einem Metallstücke **C** in leitender Verbindung stehen, welches seitwärts von dem Platinknöpfchen **c** so befestigt ist, daß dieses beim Ruhestande des Pendels in geringem Abstande davon sich befindet. Wenn das Pendel in der (vertikalen) Ruhelage steht, ist die Kette der (durch die eingegrabene Kupfer- und Zinkplatte gebildeten, im Jahre 1838 von Gauß zuerst angewendeten) Erdbatterie nicht geschlossen, sondern durch den Abstand des Knöpfchens **c** vom Metallstücke **C** geöffnet; die Batterie kann also keinen Strom liefern. Neigt man aber das Pendel nach links, d. i. gegen **n** hin, bis **c** mit **C** in Berührung kömmt, so ist die Erdbatterie geschlossen und der Strom geht von **K** durch den Leitungsdraht **1** nach der Platte **A**, von da durch die Aufhängefeder **a** in die Spirale **S** des Pendels und aus dieser zur Feder **b**, zu dem Knöpfchen **c**, in das von **c** berührte Metallstück **C**, und kehrt von hier zum Zinkpole der Erdbatterie zurück. Die Drahtwindungen auf der Spule sind von der Art, daß die Spirale **S** vom Südpole **s** angezogen und vom Nordpole **n** abgestoßen wird. Das Pendel schwingt also von **n** nach **s** hin; dabei kommt **c** und **C** wieder außer Berührung, der Strom wird unterbrochen und die Drahtspirale unmagnetisch. Zu Folge des ersten Impulses, den die Pole **n**, **s** auf die Spirale übten, ist das Pendel bis nahe an $\mathbf{M_1}$ gelangt, aus dieser Position schwingt es nachher blos vermöge der Trägheit so weit über seine vertikale Ruhelage hinaus, daß das Knöpfchen **c** wieder mit **C** in Berührung kömmt, die Erdbatterie geschlossen, die Spirale **S** neuerdings magnetisch, mithin von **s** wieder angezogen

Fig. 458.



und von n abgestoßen wird, und so dauert die Bewegung des Pendels fort, die, mittelst eines passenden Räderwerkes auf den Stunden-, Minuten- und Sekundenzeiger übertragen, diese so lange regelmäßig herumtreibt, als die Erdbatterie wirksam bleibt. Nach Kohn zeigte aber eine solche Batterie nach vollen 4 Jahren noch keine merkliche Kraftabnahme (Dingler's polyt. Journ. 1852, 2. Juniheft S. 465).

Bain hat mehrere solche Uhren in öffentlichen Gebäuden Edinburghs aufgestellt und diese haben ihren Gang innerhalb eines Monats nicht um eine Minute geändert. Die Uhren gehen ganz gleichförmig, wenn auch die Stärke des elektrischen Stromes wechselt, falls sie nur überhaupt immer groß genug ist zur Bewegung des Pendels. Es steht nämlich mit dem Pendel ein sinnreicher Regulator in Verbindung, der stets die Ausgleichung der Stromstärke bewirkt.

Das elektromagnetische Chronoskop. Dieses von Wheatstone erdachte und zuerst ausgeführte Instrument war ursprünglich zur Messung der Geschwindigkeit von Geschossen bestimmt, eignet sich aber überhaupt in vielen Fällen vortrefflich zu genauer Messung sehr kleiner Zeittheilchen. In der von Hipp erhaltenen, wesentlich verbesserten Einrichtung gibt es noch $^1/_{500}$ Sekunde an und findet daher in der Physik vielseitige sehr nützliche Anwendung, z. B. zur unmittelbaren Messung der Fallzeit eines Körpers und somit zur direkten Nachweisung der Gesetze des freien Falles. Das Wesen dieses Instrumentes macht ein passendes, ganz richtig gehendes Uhrwerk mit einem Zeiger aus, der momentan stillstehen oder gehen gemacht wird, je nachdem ein Stück weiches Eisen von einem eben erzeugten Elektromagnete angezogen oder im Momente des Verschwindens seines Magnetismus frei gelassen wird. Im ersteren Falle (der Anziehung) wird nämlich das den Zeiger treibende Räderwerk durch eine in dieses eingreifende Sperrnadel angehalten, im zweiten Falle hingegen wird dieses Räderwerk durch Heraustreten der Sperrnadel aus demselben frei gegeben. Wird daher der Stromkreis des Elektromagnetes mit dem Beginne des zu messenden Zeittheilchens geöffnet (also das Räderwerk freigegeben) und genau mit dem Ende dieses Zeittheilchens wieder geschlossen (mithin das Räderwerk wieder angehalten), so gibt der Bogen, den der besagte Zeiger zwischen diesen zwei Momenten durchlaufen hat, offenbar das Maß des fraglichen Zeittheilchens. Der Mechanismus, durch welchen dies Alles beim Hipp'schen Chronoskope bewerkstelligt wird, ist aus den nebenstehenden Figuren ersichtlich. Von diesen stellt in halber natürlicher Größe Fig. 459 die vordere, Fig. 460 die Seiten- und Fig. 461 die rückwärtige Ansicht des Apparates dar. Jedes der Zifferblätter a, b ist in 100 Theile getheilt. a wird von seinem Zeiger in 10 Sekunden und b in $^1/_{10}$ Sekunde durchlaufen; es entspricht also ein Theilstrich auf a einem $^1/_{10}$ und auf b einem $^1/_{1000}$ Sekunde. Das Rad e (Figur 460) wird durch das Rad f, an dessen Welle W das Gewicht hängt, in Bewegung gesetzt, und greift selbst wie-

Fig. 459.

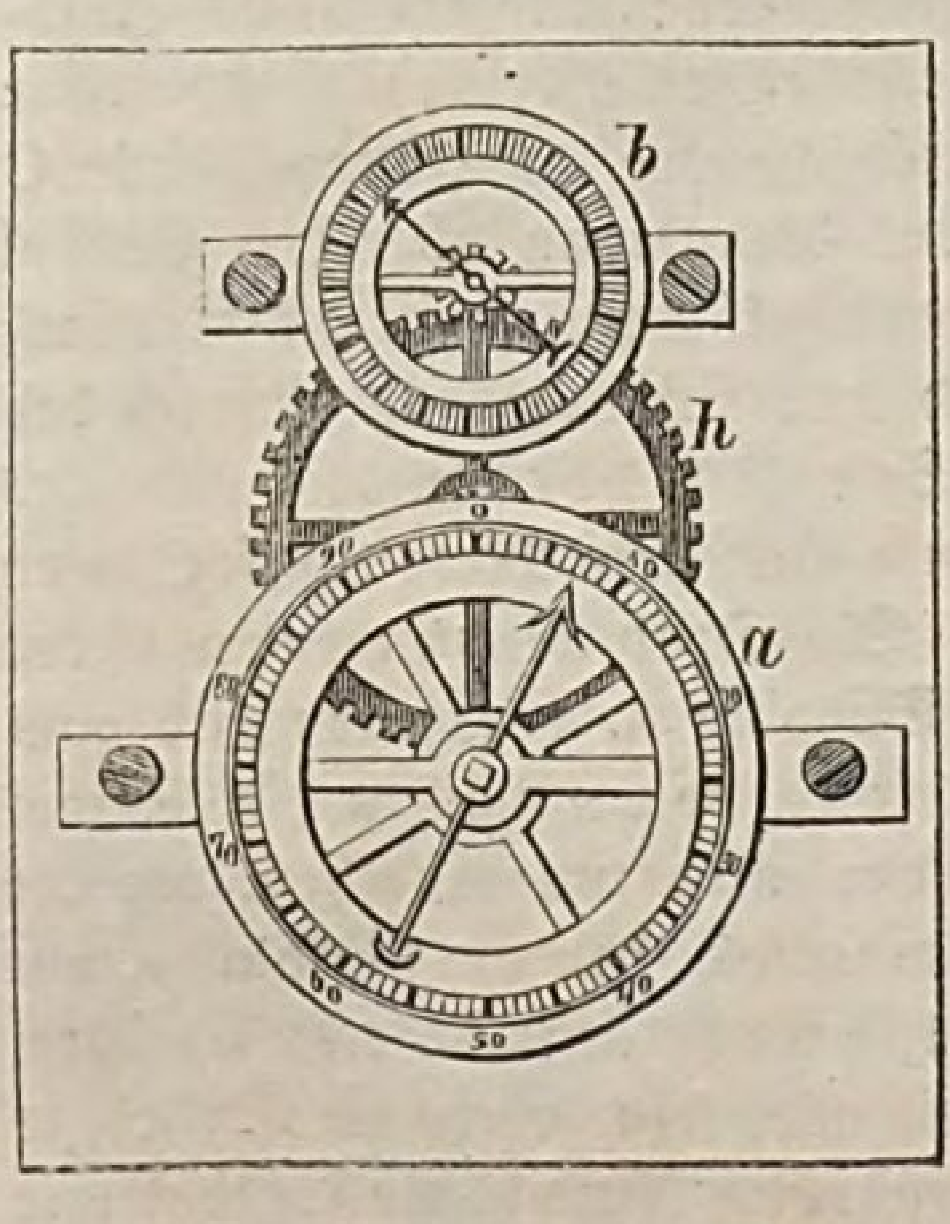


Fig. 460.

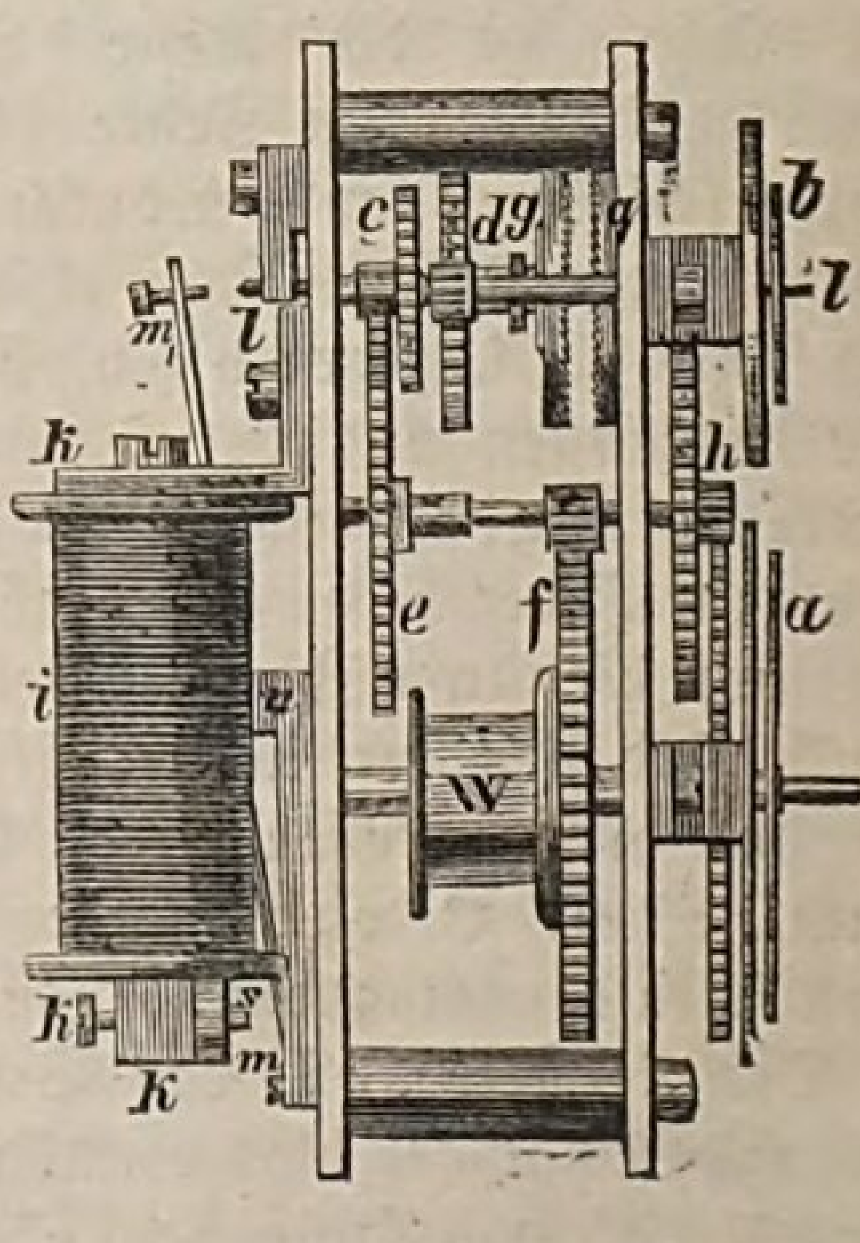
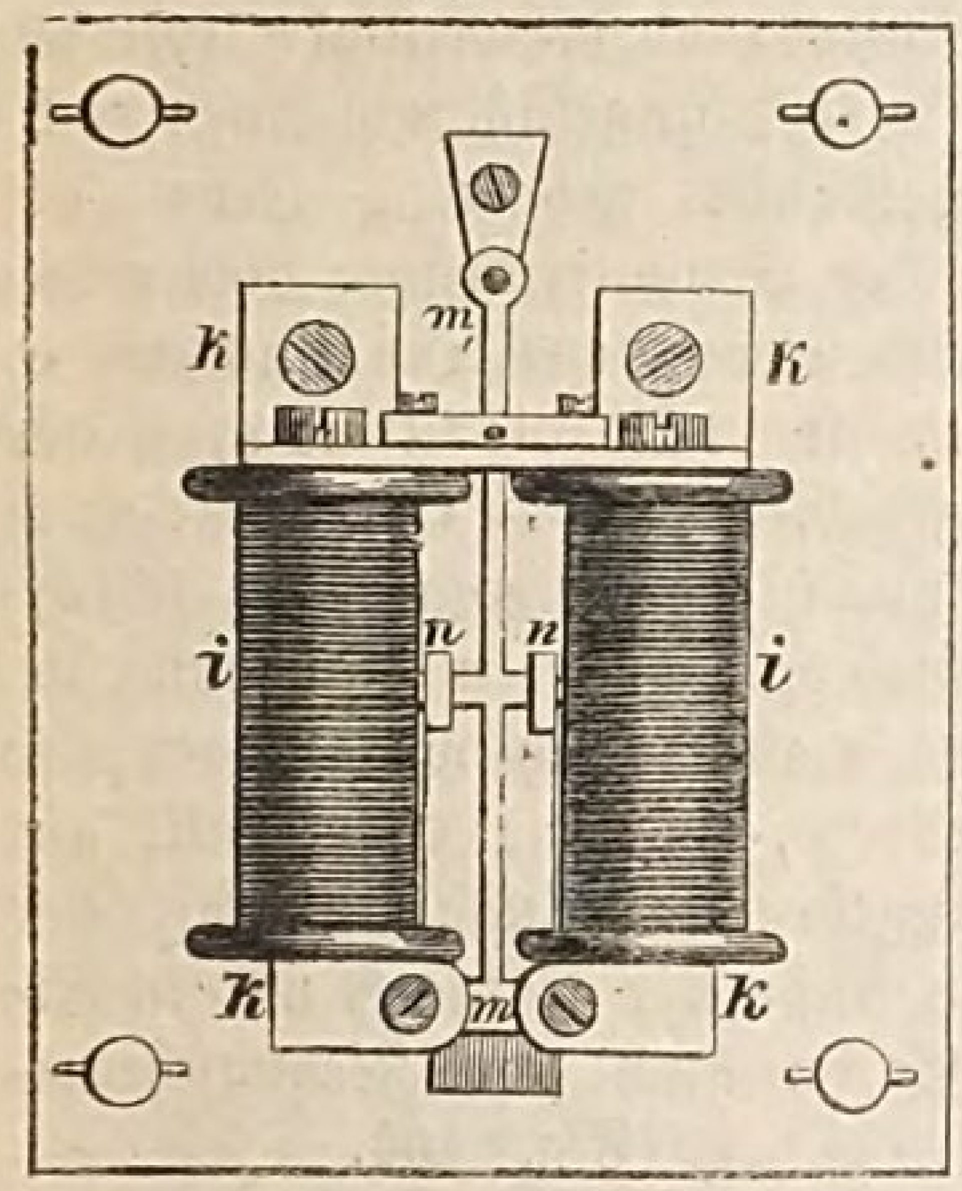


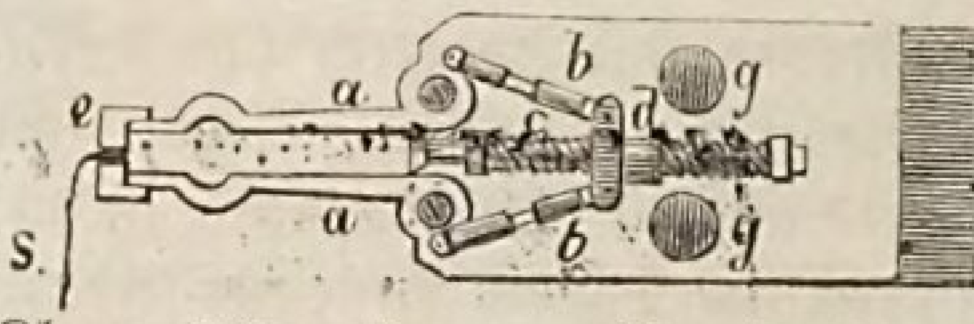
Fig. 461.



der in das Getriebe des Rades d ein. Auf der Axe des letzteren Rades sind zugleich das Kronrad g und das Steigrad c fest aufgesetzt, und diese machen somit wie d 10 Umläufe in der Sekunde. Die Hemmung besteht in einer Feder, deren Spitze die Zähne des Steigrades c berührt. Es läßt sich auf diese Weise (unter gleichzeitiger Wirkung einer besonders angebrachten starken Feder, durch welche dem Rade e mittelst der Auslösung ein Impuls ertheilt wird) der Gang des Uhrwerkes so reguliren, daß gleich mit Beginn des Ganges jede Schwingung der Feder dem Vorübergehen eines Zahnes entspricht, wo dann die Räder die erforderliche Geschwindigkeit haben. Das Zeigerwerk ist unabhängig vom Gehwerke. Durch Vermittlung des Rades h (Fig. 459 und 460) wird der Zeiger a durch den Zeiger b in Bewegung gesetzt, welcher auf der Axe l steckt, die ohne Reibung durch die durchbohrte Axe der Räder d und g geht. Auf dieser Axe ist zwischen dem beweglichen Kronrade g und dem auf der vordern Platine (Rädergestell-Platte) festgeschraubten, also unbeweglichen Kronrade q, von je 100 Zähnen, ein zweiter Zeiger oder eine Nadel befestigt, und die Axe l läßt sich so weit vor- und rückwärts schieben, daß diese Nadel entweder von den Zähnen des einen oder des andern Kronrades erfaßt wird. Man denke sich nun, das Uhrwerk sei im Gange und die Nadel liege in den Zähnen (in den Zahnlücken) des Kronrades g; so wird offenbar mit diesem Rade sich auch die Nadel drehen und diese Bewegung werden die Axe l und das vor der Platine befindliche Zeigerwerk theilen. Liegt aber, wenn die Axe l vorwärts geschoben ist, die Nadel in den Zähnen des Kronrades q, so muß, weil dieses unbeweglich ist, das Zeigerwerk still stehen, wenn auch das Gehwerk sich bewegt. Demnach wird während der Bewegung des Gehwerkes das Zeigerwerk entweder angehalten (arretirt) oder gehen gemacht, je nachdem die Axe l vorwärts oder rückwärts geschoben wird. Diese rückwärtige Bewegung der Axe l geschieht durch eine Feder, welche die Axe l beständig nach rückwärts treibt, und die Bewegung nach vorwärts wird durch den Hebel mm_1 bewirkt, der seine Lager in n, n hat und den beweglichen Anker des Elektromagneten k, k bildet. Wird (nämlich bei Schließung des Stromkreises des Elektromagneten) m von k bis s hin angezogen, so schiebt m_1 die Axe l bis zum Eingriff der Nadel in die Zähne des Kronrades q vorwärts und das Zeigerwerk wird angehalten; hört (nämlich beim Oeffnen des Stromkreises des Elektromagneten k) die Anziehung auf, so wird sowohl der Anker m als auch die Axe l durch eine Feder zurückgeschoben, die Nadel demnach von den Zähnen des Kronrades g erfaßt, folglich das Zeigerwerk die Bewegung des Gehwerkes theilen gemacht.

Bei den im Eingange erwähnten Fallversuchen mit dem Chronoskope wird das eben besagte Oeffnen und Schließen des Stromkreises von k durch eine kleine metallene Kugel bewerkstelligt, welche, bevor sie fällt, einen Theil des geschlossenen Stromkreises bildet, mit Beginn des Fallens diesen Kreis öffnet und während ihres Falles offen erhält, und im Augenblicke ihres Auffallens denselben wieder schließt. Die Fallversuche werden überhaupt in folgender Weise angestellt. Die in Rede stehende Kugel liegt auf einer Zange, die sich in horizontaler Lage mittelst einer Schraubenzwinge an der Säule der Atwood'schen Fallmaschine in beliebiger Höhe feststellen läßt und in Fig. 462 in einer Ansicht von oben anschaulich gemacht ist. Die Arme a, a dieser Zange werden durch eine Spiral-

Fig. 462.



feder c, welche auf das Verbindungsstück d der durch eingesetzte Glas- oder Holzstücke isolirten Hebelarme b, b wirkt, ungefähr um einen rechten Winkel auseinander gehalten. Jede der zum Einspannen der Stromleitdrähte dienenden Klemmschrauben g, g ist mit einem der Arme a, a leitend verbunden. Die Klammer e, die in ihrer Mitte durch einen Isolator unterbrochen ist, hält die Arme a, a der Zange so zusammen, daß in ihrer Rundung die besagte Metallkugel (C) gerade noch liegen kann, ohne durchzufallen. Durch diese Kugel nun ist der Stromkreis geschlossen und das Zeigerwerk bleibt stehen, wenn das Gehwerk auch in Bewegung ist. Wird die Klammer e mittelst des Seidenschnürchens s aber rasch weggezogen, so öffnet sich die Zange zu Folge Wirkung der Spiralfeder c, und die Kugel fällt auf einen eigenen, am Fuße der Fallmaschinen-Säule angebrachten Auffallapparat, der mit **B** bezeichnet, in Fig. 463 in seiner Stellung am Fuße der Säule **S** und in Figur 464 in einer Ansicht von oben abgebildet ist. Er hat auch zwei Klemmschrauben f, f, deren eine mit dem Metallstücke k und die andere mit einem solchen Stücke h in leitender Verbindung steht. Das Bretchen i läßt sich so weit heben, daß zwischen k und h keine metallische Berührung stattfindet; eine kleine Reibung, erzeugt durch die Federung von k, verhindert das Zurückfallen des Bretchens. Durch das Auffallen der Kugel wird diese Reibung überwunden und das Bretchen so weit (etwa ¼ Millimeter) hinabgedrückt, daß die metallische Verbindung zwischen k und h erfolgt, der Stromkreis geschlossen wird und das während des Falls der Kugel (C) in Bewegung gewesene Zeigerwerk wieder stehen bleibt. Der Versuch ist nun vollendet; das Gehwerk wird wieder gestellt, und das Resultat an den Zeigern abgelesen. Man kann auf diese Weise die Zeit des Falles durch eine Höhe von nur 10 Millimeter mit Leichtigkeit messen.

Fig. 463.

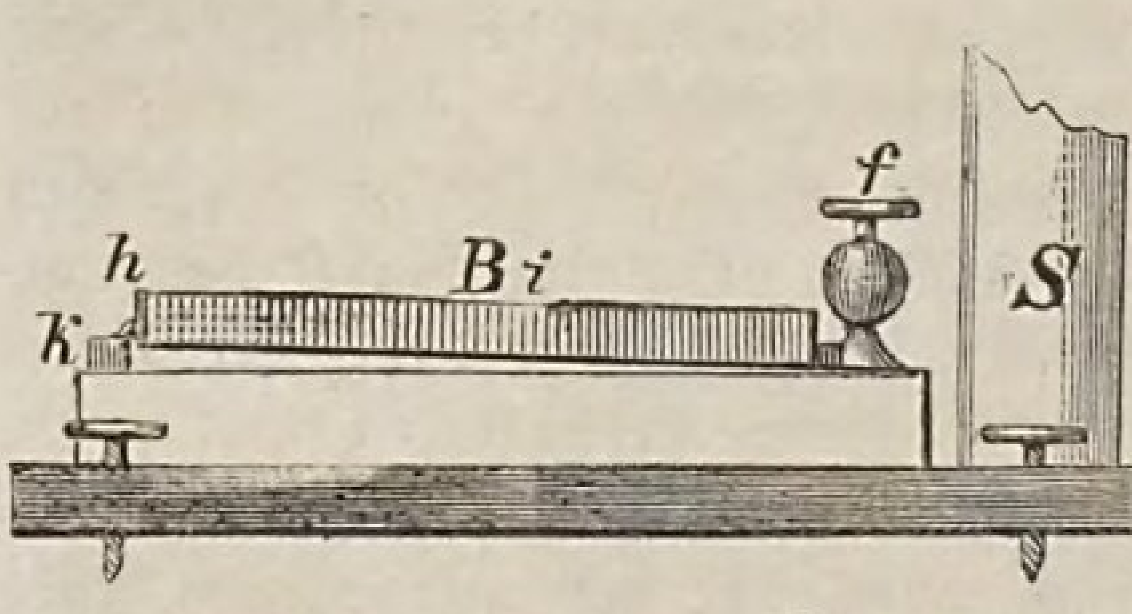


Fig. 464.

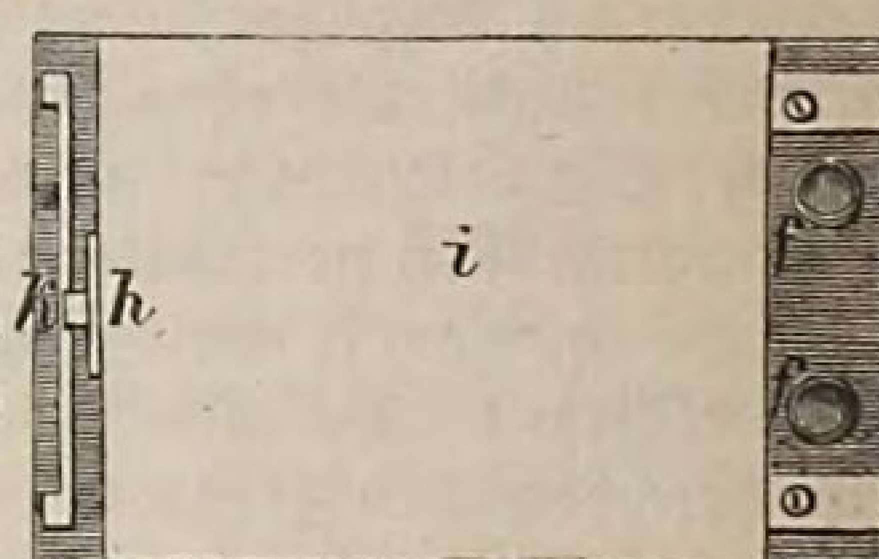
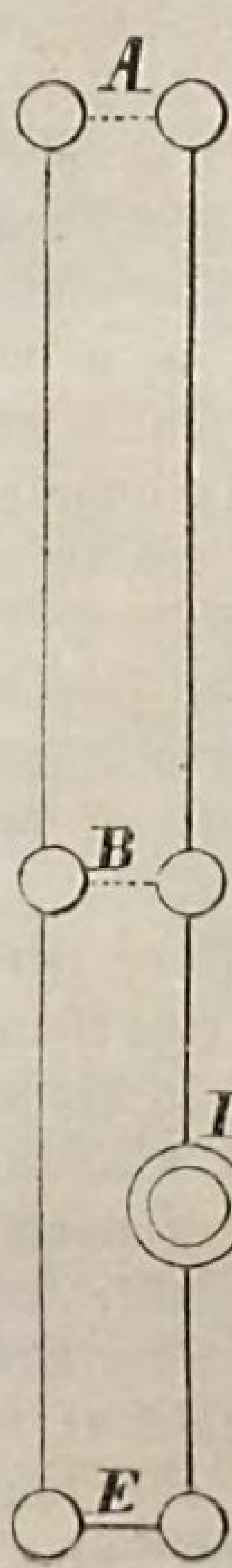


Fig. 465.



Die nöthigen Drahtverbindungen zwischen dem ganzen Apparate und der den Strom liefernden Batterie (ein Platin-Element von 1 Decimeter Höhe reicht zu allen Fallversuchen hin) ersieht man aus dem Schema in Fig. 465, wo **D** die Batterie, **E** die zwei Klemmschrauben, die am Chronoskope selbst vorhanden und mit den Enden der Drahtwindungen i, i des Elektromagneten k (Fig. 461) leitend vereinigt sind, **A** die Klemmschrauben g, g des Abfallapparates (Fig. 462) und **B** die Klemmschrauben f, f des Auffallapparates (Fig. 464) vorstellen. Liegt nun die Kugel (**C**) auf der Abfallzange in **A**, so ist der Stromkreis auf dem längeren Wege **AE** geschlossen und bei **B** (dem Auffallapparate) geöffnet; fällt aber die Kugel, so ist die Kette während des Falles offen und wird mit dem Auffallen bei **B** auf dem kürzeren Wege **BE** wieder geschlossen.

Zu Versuchen über die Geschwindigkeit von Geschossen, z. B. von Flintenkugeln, dient folgende dem Fallapparate ähnliche, sehr einfache Vorrichtung. Vor der Mündung der Büchse geht ein feiner Draht vorüber, der durch eine an

den Lauf zu befestigende Schraubenzwinge oder dgl., vom Lauf isolirt gehalten wird. Die abgeschossene Kugel zerreißt bei ihrem Austritte aus der Mündung den Draht, öffnet dadurch die Kette und macht also die Zeiger laufen. Die Zielscheibe ist nichts anderes als ein etwas größerer vertikal aufgestellter Auffallapparat (Fig. 464), an dem die bewegliche Fläche i aus einer starken Eisenplatte besteht. Die Drahtverbindung findet in gleicher Art, wie bei den Fallversuchen statt, nämlich so, daß A (Fig. 465) den Draht vor der Mündung des Geschosses und B die Zielscheibe vorstellen kann oder auch umgekehrt. Die Batterie muß eine etwas stärkere sein, als für die Fallversuche. (Dingler's polyt. Journal, Jahrg. 1849, S. 255.)

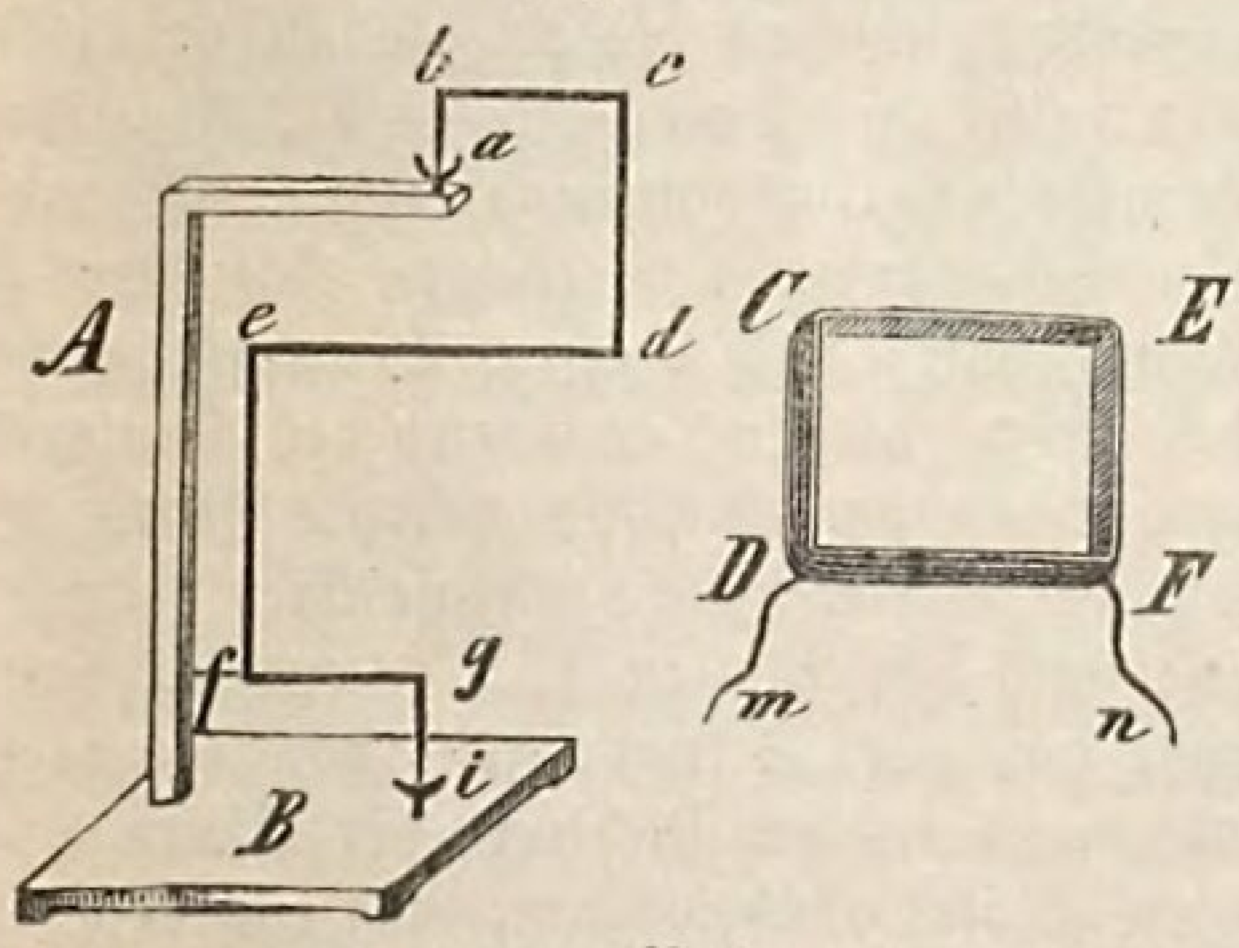
Einen sehr sinnreichen Apparat, ganz für die nämlichen Zwecke, wie das eben beschriebene Chronoskop, der aber gar kein Uhrwerk hat, also von allen mit einem solchen immer verbundenen, wenn auch noch so kleinen Unsicherheiten frei ist, hat der belgische Artillerie-Offizier Navez construirt. Die k. k. österreichische Regierung hat einen derlei Apparat für militärische Zwecke angekauft und den Erfinder durch Verleihung eines Ordens ausgezeichnet.

Wirkungen elektrischer Ströme auf einander und auf den Magnetismus, so wie umgekehrt des Magnetismus auf elektrische Ströme. (Elektrodynamik.)

242. Wirkung elektrischer Ströme auf einander. Die Wirkung elektrischer Ströme auf einander wurde von Ampère entdeckt, und das Meiste dessen, was über diese interessante Classe von Erscheinungen bekannt ist, verdankt man diesem Gelehrten. Ohne hier in die ganze Ampère'sche Theorie eingehen zu können, wollen wir im Nachfolgenden nur die Hauptgrundsätze derselben durch Versuche erläutern.

Die gegenseitige Wirkung geradliniger, paralleler Ströme erfolgt nach dem Gesetze: Zwei parallele Ströme üben auf einander Anziehung oder Abstoßung, je nachdem sie einerlei oder entgegengesetzte Richtungen haben... (†) Um dies durch einen Versuch darzuthun, kann man sich der in Fig. 466 abgebildeten Vorrichtung bedienen. **AB** ist ein hölzernes Gestelle und **abcdefgi** ein Kupferdraht, der mittelst stählerner Spitzen an den Enden in den Quecksilber enthaltenden Näpfchen a, i auf Glas ruht und daher um diese Spitzen sehr leicht beweglich ist. **CDFE** bedeutet einen kleinen hölzernen Rahmen, der auf seinem Umfange einen mit Seide übersponnenen, dünnen Kupferdraht viele Male herumgewunden, also ein multiplizirendes Drahtgewinde enthält, wovon m, n die Enden sind.

Fig. 466.



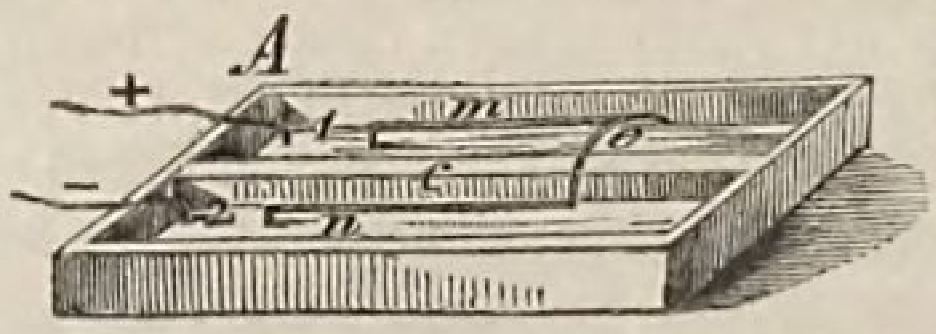
Wird nun, indem man die Näpfe a, i mit den Polen einer Kette verbindet und in den Schließungsleiter zugleich das Drahtgewinde des Rahmens einschaltet, ein Strom durch den Draht **abcdefgi** und durch das besagte Drahtgewinde geleitet, und der Rahmen **CDFE** so vor oder hinter die Ebene des Drahtes **abcdefgi** gehalten, daß **CD** parallel zu cd ist; so wird cd von **CD** angezogen oder abgestoßen, jenachdem in beiden der Strom einerlei oder entgegengesetzte Richtungen hat. Die Stärke dieser gegenseitigen Einwirkung der Ströme ist dem Produkte ihrer Intensitäten und der Länge der einander parallelen Drahtstücke direkt und dem Quadrate des gegenseitigen Abstandes der letzteren umgekehrt proportional.

Zwei geradlinige sich kreuzende Ströme suchen einander parallel zu stellen; es findet zwischen denselben ebenfalls Anziehung oder Abstoßung statt, jenachdem sich beide zum und vom Kreuzungspunkte bewegen oder der eine Strom nach diesen Punkt hingeht, während der andere sich von demselben entfernt . . . (††). Man überzeugt sich von der Richtigkeit dessen, wenn man (bei der

in Fig. 466 abgebildeten Vorrichtung) die Seite **CE** des Rahmens so unter das Drahtstück ed bringt, daß beide mit einander einen Winkel bilden, und einmal der Strom in **CE** nach derselben Gegend wie in ed geht, ein anderes Mal aber die umgekehrte Richtung hat.

Die Theile eines und desselben geradlinigen Stromes stoßen einander ab. Man überzeugt sich hievon leicht mittelst des in Fig. 467 anschaulich gemachten Apparatchens. **A** ist eine mit Quecksilber gefüllte, seichte, gläserne Wanne, die zwei durch eine (etwa eingekittete) Scheidewand c getrennte Abtheilungen enthält. mon stellt einen Kupferdraht vor; er ist so gebogen, daß er beide Abtheilungen mit einander verbindet, und seine horizontalen, auf dem Quecksilber schwimmenden Arme sind bis auf die abwärts gebogenen und ins Quecksilber tauchenden Enden mit Seide übersponnen oder mit Wachs überzogen. Werden nun die von den Polen einer Kette kommenden Drähte 1, 2 in den Verlängerungen der besagten Arme in die beiden Abtheilungen versenkt, so entfernt sich der Draht mon von 1, 2, auf der Quecksilberoberfläche fortgleitend.

Fig. 467.



Rotation eines Stromes durch Wirkung eines andern. Stellt ab Fig. 468 ein Stück eines fixen Leiters vor, durch den von a nach b hin ein Strom geht, ist ferner cd ein Stück eines andern Leiters, der in der Richtung von c nach d von einem Strome durchzogen wird und parallel zu sich selbst leicht beweglich ist; so werden (dem Gesetze der Einwirkung sich kreuzender Ströme zu Folge) die Stromtheile fb und cd einander anziehen, af und cd aber abstoßen. Jede der Kräfte, womit dies geschieht, läßt sich in zwei Componenten zerlegen, wovon die eine zu ab parallel, die andere senkrecht darauf, also mit cd parallel ist. Da cd nur in der Richtung von ab beweglich ist, so können die auf ab senkrechten Componenten keine bewegende Wirkung auf cd üben; die mit ab parallelen Componenten vereinigen sich aber zu einer Resultirenden, welche cd in der Richtung von a nach b hin in Bewegung setzt, und es muß offenbar, wenn, wie Fig. 469 zeigt, ab (in der Ebene des Papiers) kreisförmig gebogen und cd um eine, durch seine Mitte gehende Vertikalaxe (auf der Papierebene vertikale Axe) e drehbar ist, cd im Kreise nach den Pfeilen 1, 2 herumgetrieben werden, vorausgesetzt, daß der Strom darin von e gegen die Enden c, d und in ab in der Richtung der Pfeile 3, 4 geht. Man kann diese Rotationsbewegung mittelst des in Fig. 470 dargestellten Apparates experimentell nachweisen, wo ab eine kreisförmige, in sich zurückkehrende Rinne aus Kupfer darstellt, die mit gesäuertem Wasser gefüllt ist, und cd einen horizontalen, an den abwärts gebogenen Enden mit kleinen Kügelchen beschwerten Draht bedeutet, der mittelst einer Spitze e auf dem mit einem Glasplättchen belegten Boden eines Quecksilbernäpfchens ruht und durch zwei herabgehende Drahtstücke 1, 2 in das gesäuerte Wasser der Rinne taucht (die besagten Kügelchen haben nur die Aequilibrirung des Drahtes und die Herabbringung seines Schwerpunktes unter die Spitze e zum Zwecke). Läßt man nun einen Strom z. B. durch den das Quecksilbernäpfchen e tragenden Draht f bei e in cd ein- und durch den Draht g aus der Flüssigkeit in b austreten, so daß

Fig. 468.

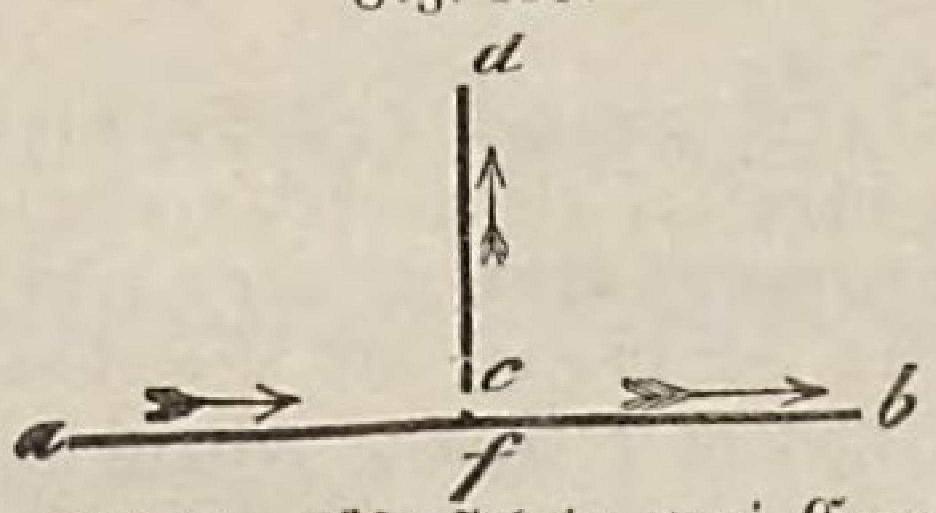


Fig. 469.

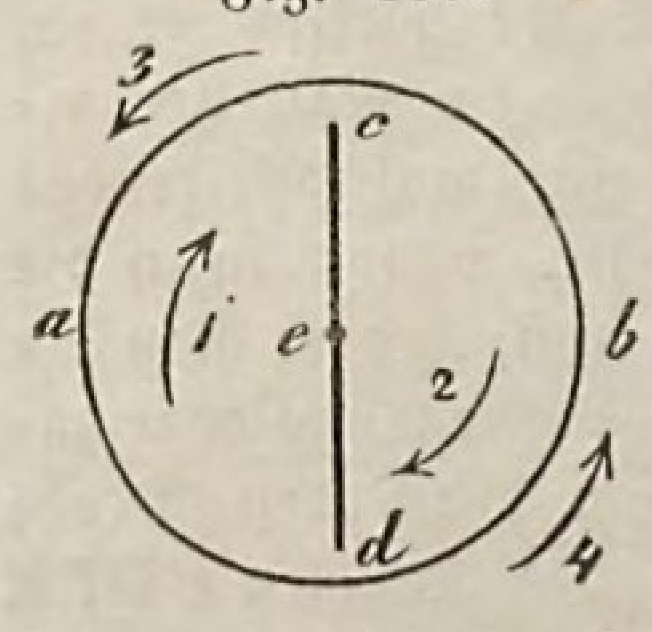


Fig. 470.

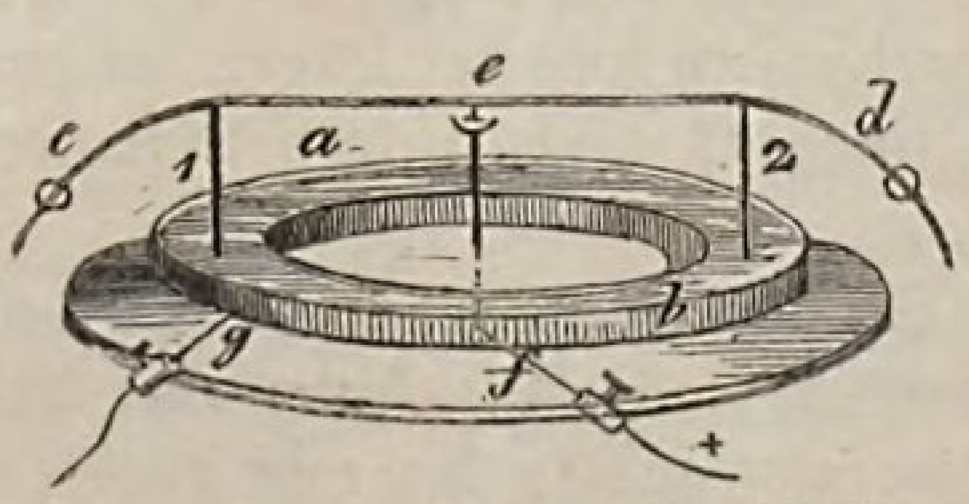
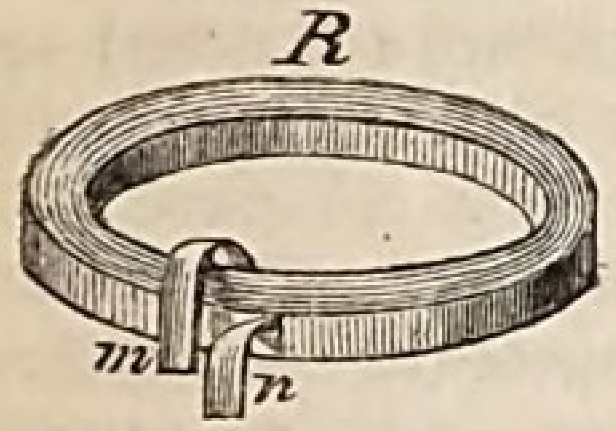


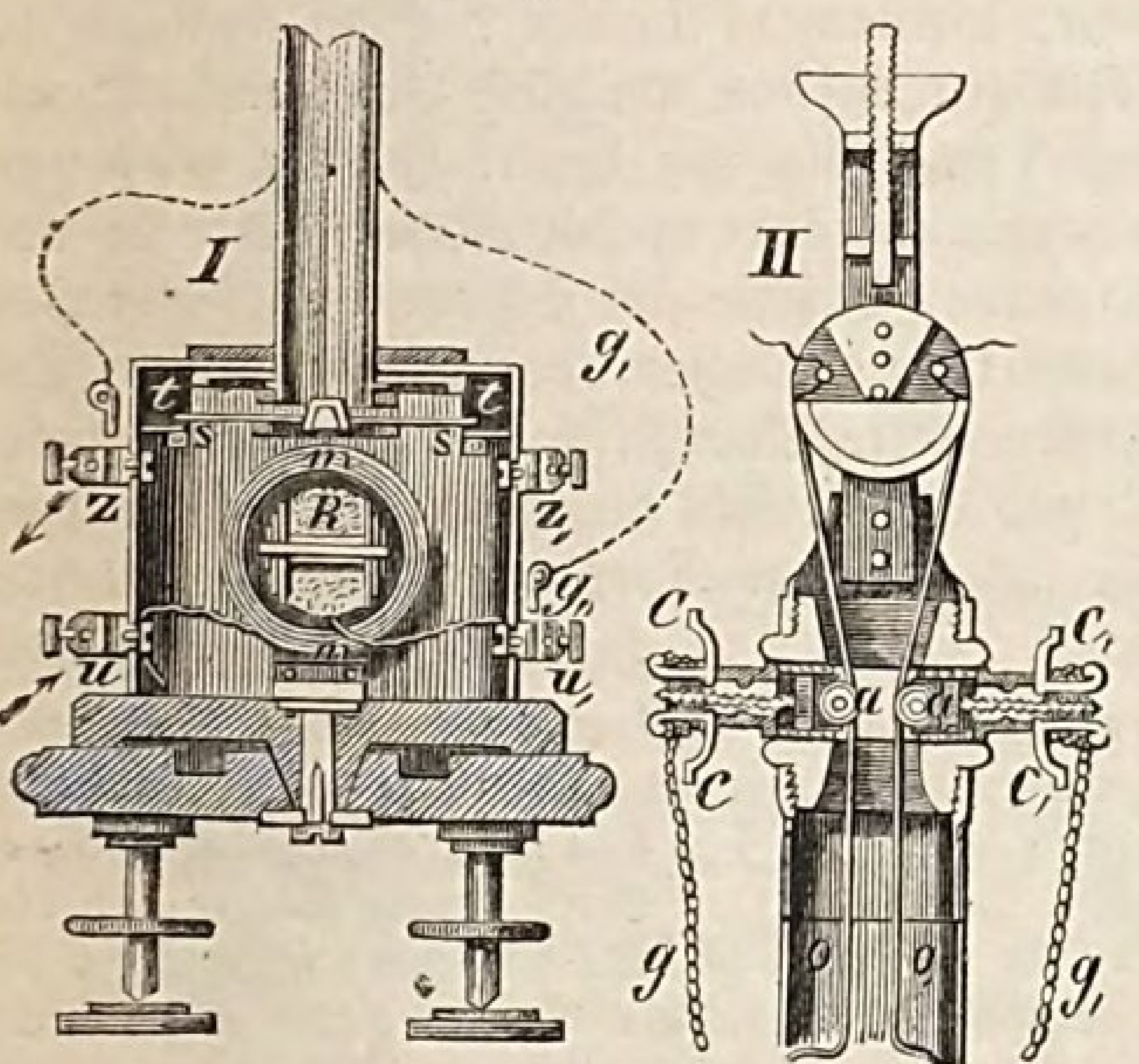
Fig. 471.



dieser Strom durch die beiden Arme des Drahtes cd nach entgegengesetzten Richtungen in das Wasser gelangt, und umgibt, um den Kreisstrom zu erhalten, das Gefäß ab mit einem Ringe **R**, der (Fig. 471) aus mehreren Windungen eines mit Seide überzogenen Kupferblechstreifens gebildet ist, dessen Enden **m**, **n** mit einer Stromquelle in Verbindung gesetzt werden; so rotirt der Draht cd (Fig. 470), so lange die Ströme in der angegebenen Weise den Apparat durchziehen. Der Draht cd rotirt zwar, wie wir später hören werden, schon unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus; allein die Wirkung dieses letzteren wird von jener des Stromes im Ringe **R** bedeutend überwogen, was daraus hervorgeht, daß die Richtung der Rotation sich ändert, jenachdem der Strom bei m oder n in **R** eintritt.

Zur Nachweisung der Gesetze der gegenseitigen Einwirkung elektrischer Ströme, so wie überhaupt zu ganz feinen Beobachtungen und Maßbestimmungen elektrodynamischer Wirkungen eignet sich ganz vorzüglich ein von **Weber** erdachtes und Elektrodynamometer genanntes Instrument, welches in Fig. 472 abgebildet ist, wo die obere, abgebrochen dargestellte Fortsetzung II des unteren Theiles I gegen diesen um 90° gedreht gezeichnet ist. R und m sind zwei auf passenden Spulen oder Rollen aufgewickelte, multiplizirende Drahtgewinde (Multiplikatoren), wovon m, einen 300 Meter langen Draht enthaltend, am Boden des Kastens, der beide einschließt, fixirt, und R, aus 200 Meter langem Drahte, in m schwebend, an zwei langen feinen Metallfäden o, 0′ (also bifilar) aufgehängt ist. Da diese Aufhängungsart mit gar keiner Reibung verbunden ist, so kann R einen sehr langen Draht in sehr vielen Windungen enthalten und so eine starke Multiplikation der galvanischen Kraft gewonnen werden, ohne daß durch das größere Gewicht die Beweglichkeit von R (um eine vertikale Axe) im Geringsten leidet. Die zwei Aufhängedrähte bewirken zugleich, daß jeder Drehung von R um einen bestimmten Winkel ein bestimmtes Drehungsmoment entspricht, welches diesen Winkel zu verkleinern sucht und dem Sinus des Drehungswinkels proportional ist, wodurch ein Maßstab für alle Drehungsmomente gebildet wird, mit dessen Hilfe jedes andere auf R wirkende Drehungsmoment gemessen werden kann. Es kann R auch ohne Nachtheil mit einem Spiegel belastet werden, welcher an der Drehung von R Theil nimmt und hier ebenso wie beim **Gauß**'schen Magnetometer (S. 371) zu feinen Winkelmessungen sich benützen läßt. Bei normalem Stande des Instrumentes sind die Ebenen, in welche die Windungen beider Multiplikatoren fallen, auf einander senkrecht, und der gemeinschaftliche Durchmesser beider Multiplikatoren ist die Dreharxe von R.

Fig. 472.



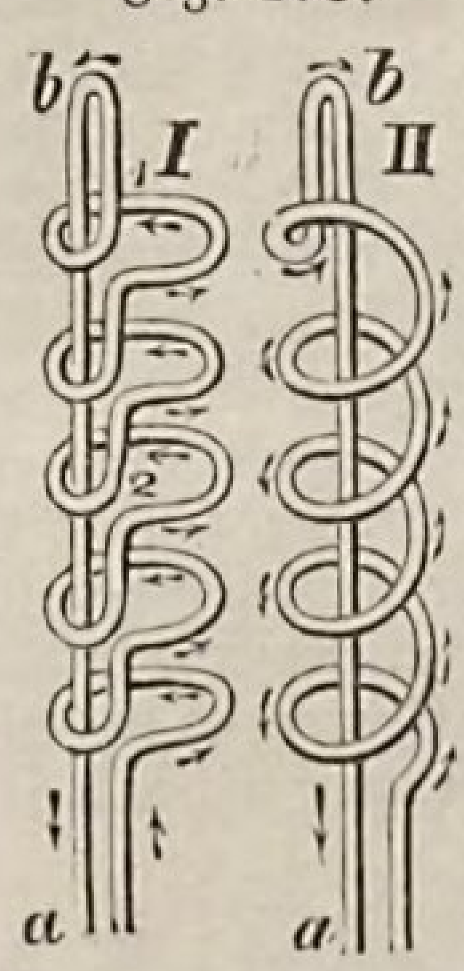
Leitet man nun einen galvanischen Strom bei der Klemmschraube u in das Instrument ein, so geht derselbe von u durch den Multiplikator m nach u′; steckt man jetzt den Leitungsdraht g′ mit dem an seinem Ende befestigten Metallzäpfchen g″ in die Klemmschraube u′, so geht der Strom von hier in g′ hinauf nach der Mutter c′, in das Röllchen a′, von da hinab nach o′ und dann durch den schwebenden Multiplikator R, nach Austritt aus diesem durch den Draht o hinauf zum Röllchen a, weiter durch die Mutter c nach dem Leitungsdraht g, g und endlich durch diesen herab zur Klemmschraube z, die wie u mit der Stromquelle leitend verbunden ist. Die 4 Klemmschrauben u, u′, z, z′ dienen überhaupt für den Wechsel der Ströme und sonstige Combinationen. Die Ablenkung (Drehung), welche das Gewinde R in m zu Folge der Einwirkung erfährt, welche der durch m und der durch R gehende Strom auf einander üben, wird durch einen Zeiger t, t angezeigt, der parallel zur Axe der Rolle R mit dieser vereinigt ist, sich also mit ihr bewegt und über einer oberhalb m fixirten horizontalen Bogenscale s, s spielt. Die genauere Beschreibung des in Rede stehenden Instrumentes findet man in Pogg. Ann. B. 73. S. 197.

243. Ampère's Theorie des Magnetismus. Nach dieser Theorie verdankt ein Magnet seine magnetischen Eigenschaften nicht einer vorausgegangenen

Weckung oder Trennung eigener (magnetischer) Materien, sondern geschlossenen elektrischen Strömen, welche sich um seine kleinsten Massetheilchen (Molekel) ohne Unterlaß herumbewegen. Nach Ampère ist ein unendlich dünner Magnet (den man sich als eine Aneinanderreihung einzelner Molekel, gleichsam als einen Faden von Molekeln, zu denken hat) ein System nacheinander folgender elektrischer Ströme, welche die Molekel in unendlich kleinen Bahnen umziehen, die in sich zurückkehren, kreisförmig sind, in auf der gemeinschaftlichen Verbindungslinie der besagten Molekel senkrechten, also untereinander parallelen Ebenen liegen und die Molekel zu Mittelpunkten haben; ein cylindrischer Magnetstab aber ist als ein aus unendlich vielen solchen ganz gleichen Systemen zusammengesetztes Bündel anzusehen, oder (da die Elementarströme jedes auf seine Axe senkrechten Querschnittes sich zu einen einzigen resultirenden Strom zusammengesetzt denken lassen) als ein System kreisförmiger Ströme zu betrachten, welche alle in dem nämlichen Sinne und in Ebenen sich bewegen, die unter sich parallel, gegen die Axe des Stabes senkrecht sind und ihre Mittelpunkte in dieser Axe selbst haben. Das von einem cylindrischen Magnetstabe Gesagte leidet auch Anwendung auf eine Magnetnadel und überhaupt auf einen Magnet von was immer für einer Gestalt, wenn man immer die magnetische Axe (S. 363) betrachtet und sich die kreisförmigen Ströme um diese Axe (senkrecht auf dieselbe und alle in dem nämlichen Sinne) in Bewegung denkt. Immer wird vorausgesetzt, daß je zwei Theilchen der besagten Ströme in der Richtung der sie verbindenden geraden Linie auf einander wirken, daß sie sich anziehen oder abstoßen, jenachdem die Richtungen ihrer Bewegung die nämlichen oder entgegengesetzt sind, und daß jeder dieser Ströme nach der linken Seite seiner Richtung (nach der linken Seite eines im Kreisstrome schwimmend und das Gesicht dessen Mittelpunkt zuwendend gedachten Menschen) sich wie ein magnetischer Nord- und nach der rechten Seite wie ein magnetischer Südpol äußere . . . . (139)

Nach Obigem ist es leicht, Magnete (wenn auch nicht vollkommen, doch mit großer Annäherung) nachzuahmen, und man braucht zu diesem Ende nur einen mit Seide übersponnenen Draht in der durch Fig. 473 bei I anschaulich gemachten Weise, nämlich zu Kreisen zu winden, die durch gerade Stücke von einander getrennt sind, und nachher durch das Gewinde einen Strom zu leiten. Ampère nennt ein System kreisförmiger Ströme, wie es auf diese Art erhalten wird, einen elektro-dynamischen Cylinder oder ein Solenoid. Es sind zwar zwischen Solenoiden und Magneten noch Unterschiede vorhanden, weil die Solenoid-Kreise nicht geschlossen sind, sondern unter einander communiciren und von einem und demselben Strome durchzogen werden; allein diese Unterschiede können die Analogie der Wirkungen eines Solenoides und eines Magnetes nicht aufheben. Uebrigens darf man nur einen Theil ab des Drahtes geradlinig und zu den vorher erwähnten geraden Stücken 1, 2, 3 . . . desselben parallel zurückführen, um die Wirkung dieser Stücke durch die entgegengesetzte und gleiche Wirkung von ab zu neutralisiren. Ein spiralförmig gewundener Draht, wie bei II Fig. 473, gleicht ganz dem Solenoide I, weil die Stromwirkung in jeder schiefen Windung zwei Componenten gibt, eine zu ab parallele und eine darauf senkrechte, und die ersteren (die parallelen) sämmtlich durch die gleiche und entgegengesetzte Wirkung von ab aufgehoben werden.

Fig. 473.



Nach dieser Ampère'schen Theorie ist anzunehmen, daß in allen des Magnetismus fähigen Körpern, wie Eisen und Stahl, die Molekel beständig von Strömen umzogen werden, daß aber von letzteren die Richtungen nach allen Seiten hin verworren durch einander gehen, und die Wirkungen nach außen stets Null sind, weil die in einem Sinne wirkenden Ströme immer durch entgegenwirkende vernichtet werden. Das Magnetisiren besteht in einer solchen äußeren Einwirkung auf diese Ströme, daß sie alle oder wenigstens zum Theil parallel laufend werden und dann im gleichen Sinne und mit vereinten Kräften nach außen wirken . . . (1). Besitzt der hierdurch magnetisirte Körper keine Coercitiv-

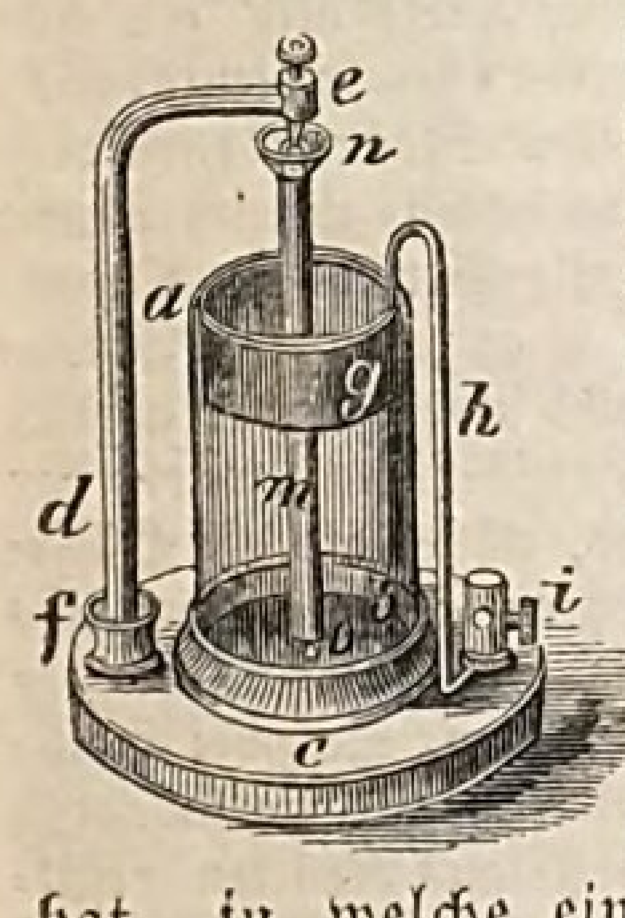
kraft, wie das weiche Eisen, so kehren nach dem Aufhören der Einwirkung von außen die Ströme zu Folge gegenseitiger Action wieder in ihren ursprünglichen Zustand der Verwirrung zurück; bei einem Körper hingegen, der, wie z. B. Stahl, Coercitivkraft besitzt, behalten die Ströme, einmal in der Art (1) angeordnet, diese Anordnung fort.

Auch der Erdmagnetismus ist nach der in Rede stehenden Theorie das Resultat elektrischer Ströme, die im Innern der Erdkugel, nach unter einander und zum magnetischen Aequator parallelen Richtungen in Bewegung sind. Die Wirkung aller dieser Ströme läßt sich offenbar an jedem Orte auf jene eines einzigen hypothetischen Stromes reduciren, dem man dann, um die Gesammtwirkung der Ströme an dem Orte darzustellen, eine bestimmte Intensität und Richtung zuschreiben muß. Dieser Strom, welcher der mittlere Strom der Erde genannt werden mag, liegt am magnetischen Aequator in einer vertikalen, an allen andern Orten in einer geneigten (auf der Neigungsnadel senkrechten) Ebene und geht immer von Ost nach West.

So äußerst sinnreich die Ampère'sche Hypothese ist, so hat sie doch vor der Annahme eigener magnetischer Stoffe keinen Vorzug, denn sie fordert anstatt dieser die Annahme selbstständig fortbestehender, von einander gesonderter, elektrischer Ströme. Ja in dieser Annahme liegt sogar eine nicht unbedeutende, gegen die Ampère'sche Theorie sprechende Schwierigkeit, nämlich, daß man nicht begreift, wie elektrische Ströme selbstständig, ohne Thätigkeit einer elektromotorischen Kraft und überdies in einem Leiter (ein solcher ist aber doch jedes des Magnetismus fähiges Metall), neben einander und getrennt bleibend, fortbestehen können. Uebrigens hat die Hypothese elektrischer Molekularströme, wie sie Ampère aufgestellt hat, durch eine der neuesten Untersuchungen Weber's über den Zusammenhang des Diamagnetismus mit dem Magnetismus und der Elektrizität (Pogg. Ann. Nr. 10, 1852, S. 145 u. f. w.) neue und feste Stützpunkte erhalten.

244. Rotation eines Magnetes unter dem Einflusse eines galvanischen Stromes. Der Magnet rotirt entweder 1) um sich selbst (um seine Axe) oder 2) um den Strom, unter dessen Einfluß er steht. Ersteres läßt sich mittelst des Apparatchens (Fig. 474) experimentell darthun. ab ist ein (etwa

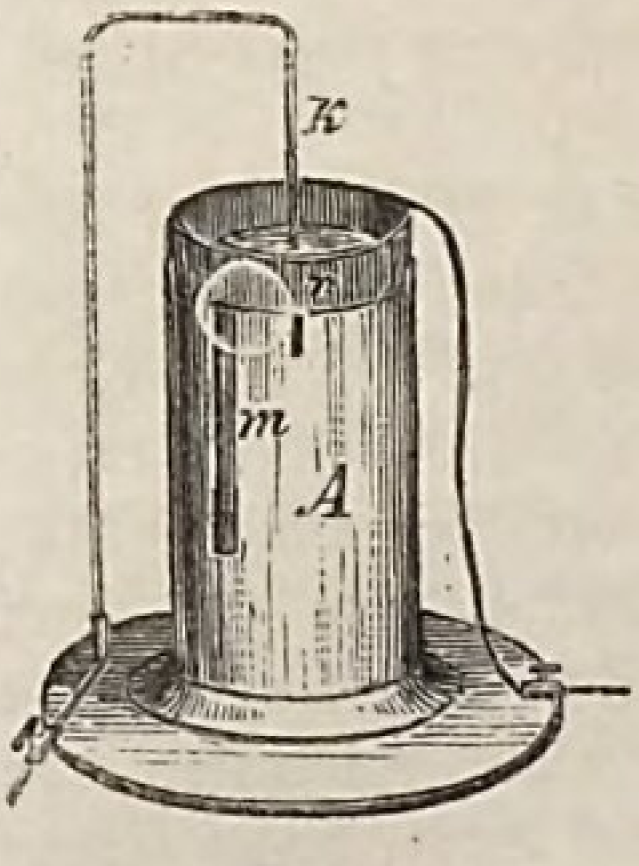
Fig. 474.



2″ hohes, $^3/_4$″ weites) cylindrisches, beiderseits offenes Gläschen, das in das hölzerne Postamentchen c quecksilberdicht eingekittet ist; de ist ein (einige Linien dicker) rechtwinklig gebogener Kupferdraht, der mit dem untern, durch den Quecksilbernapf f gehenden Ende in c festgemacht ist und am zweiten Ende eine vertikale, unten mit einer konischen Spitze versehene Stahlschraube e enthält; g ist ein Reif aus Kupferblech, der sich in ab mit Reibung auf und ab schieben läßt und durch einen Draht h mit einer Klemmschraube oder einem zweiten Quecksilbernapf i in Verbindung ist; m endlich ist ein cylindrischer Stahlmagnet (von etwa 4″ Länge und 3‴ Durchmesser), der oben ein kupfernes Schälchen aufgesteckt und in beiden Endflächen Grübchen hat, in welche einerseits die Spitze der Schraube e, andererseits das ebenfalls zugespitzte Ende einer zweiten, in dem Postamente von unten herauf eingeschraubten Stahlspitze o so eingreift, daß der Magnet m um seine vertikale Axe sehr leicht beweglich ist. Füllt man nun das Schälchen n und nachher ab so weit mit möglichst reinem Quecksilber an, daß, während dessen Oberfläche vom Reife g berührt wird, das Gewicht des Magnetes m beinahe ganz aufgehoben und er fast schwimmen gemacht ist, und setzt nun den einen der gleichfalls Quecksilber enthaltenden Näpfe f, i mit dem + Pol und den andern mit dem — Pol einer einfachen z. B. Daniell'schen Kette in leitende Verbindung; so rotirt m um seine vertikale Axe und wechselt die Richtung seiner Rotation, so oft durch Vertauschen der in f und i tauchenden Polardrähte oder mittelst eines Gyrotropes (S. 501) die Stromrichtung umgekehrt wird.

Das Rotiren eines Magnetes um den Strom, unter dessen Einfluß er steht,

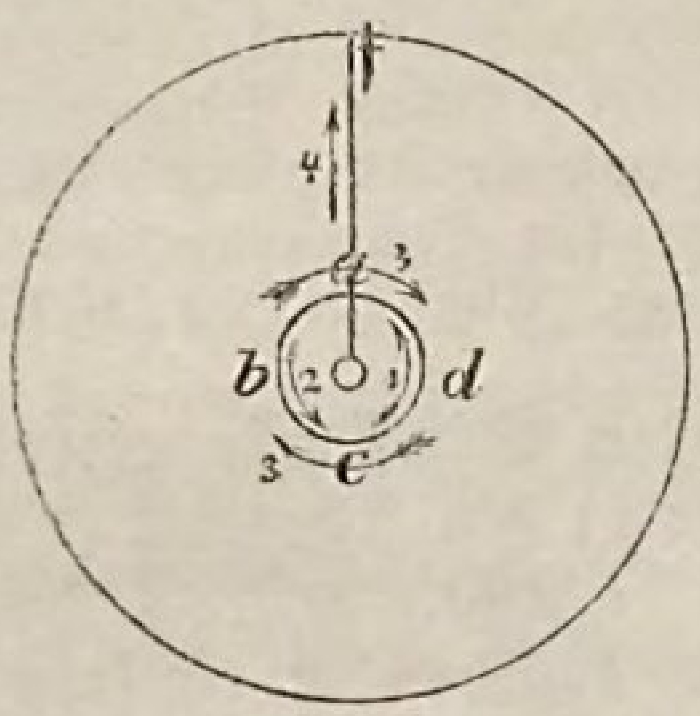
Fig. 475.



läßt sich durch folgende Vorrichtung (Fig. 475) experimentell nachweisen. **A** und **r** sind Glasgefäß und Reif wie ab und g in der vorigen Figur; **A** ist hier bis an **r** mit reinem Quecksilber gefüllt; **m** ist ein kleiner cylindrischer Stahlmagnet, der durch ein am untern Ende angeschraubtes, mit ihm gleich dickes Platinstück im Quecksilber aufrecht so schwimmen gemacht wird, daß sein oberes Ende 1—2''' aus dem Quecksilberspiegel hervorragt; **k** ist ein im Postamente des Apparatchens festgemachter, dicker Kupferdraht, der ungefähr 1''' tief in der Mitte der Oberfläche des Quecksilbers in dieses eintaucht. Sobald man diesen Draht mit dem einen und den Reif r mit dem andern Pole einer kräftigen einfachen Kette leitend verbindet, beginnt der Magnet **m** um den Draht **k** herum zu kreisen. Bei Umkehrung der Stromrichtung findet auch sogleich eine Umkehrung der kreisenden Bewegung von m Statt.

Die Erklärung der beschriebenen Rotationen ist nun, nach Ampère, folgende: **1. Fall.**

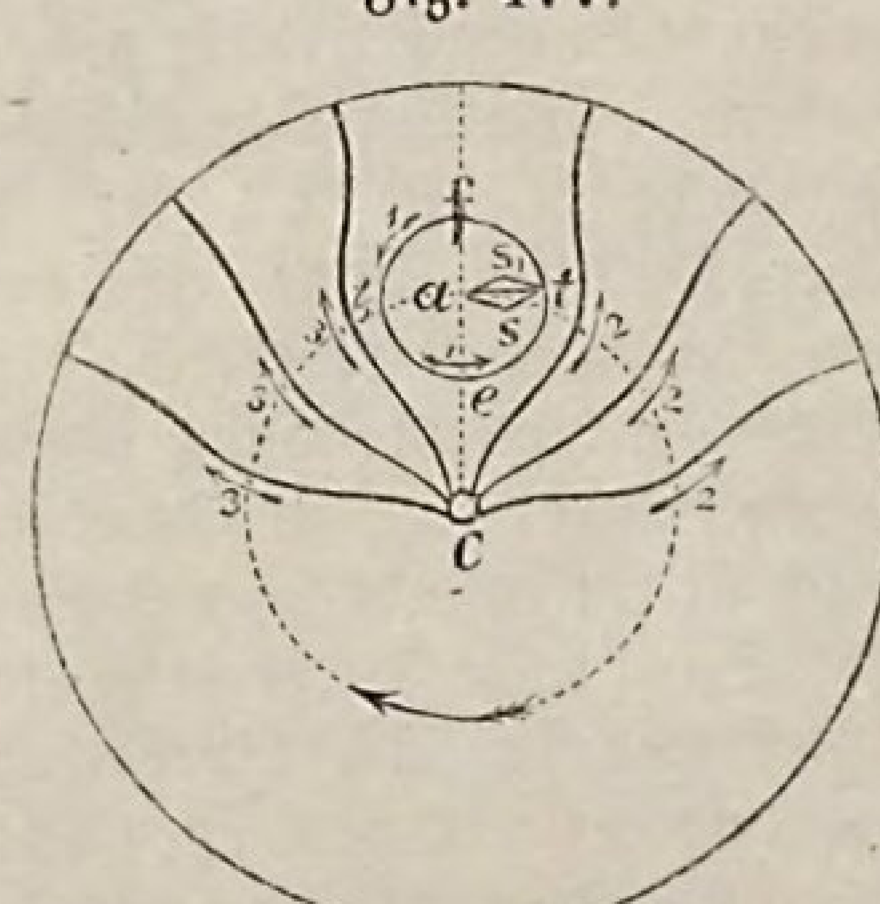
Fig. 476.



Ist abcd (Fig. 476) der Durchschnitt des Magnetes durch die Quecksilberoberfläche und af einer der Ströme, welche auf dieser Oberfläche hingleiten, um den Kupferreif zu gewinnen, durch denselben das Gefäß zu verlassen und zum — Pol der Volta'schen Batterie zurückzukehren; so wird gemäß (+) S. 527 der Theil ab von af angezogen, während ad Abstoßung erfährt, und dem zu Folge muß sich der Magnet in einer Richtung drehen, die jener der Ströme, die ihn (als Solenoid betrachtet) constituiren, entgegengesetzt ist. Die Pfeile zeigen die Richtungen der Bewegung an und zwar 4 des Batteriestromes, 1, 2 der Magnetströme und 3 der Rotation des Magnetes. Geht der Batteriestrom umgekehrt vom Reif zum Magnet, so ist die Richtung seiner Drehung einerlei mit jener der ihn constituirenden Ströme.

2. Fall. Es sei (Fig. 477) der zum Mittelpunkte a gehörige kleine Kreis etft' ein horizontaler Durchschnitt des Magnetes (des Solenoides),

Fig. 477.



und seine Peripherie stelle einen der Ströme des Solenoids vor. Nimmt man an, derselbe bewege sich im Sinne des Pfeiles 1, so wird er durch alle Ströme im Quecksilber, welche wie ein durch Pfeil 2 angedeuteter Strom rechts vorbeigehen, angezogen, und zwar wieder gemäß (+) S. 527 und weil die halbe Peripherie etf, worin der Strom in demselben Sinne geht, näher als die Hälfte et_1f ist, wo er sich im entgegengesetzten Sinne bewegt. Es stelle as diese Anziehung vor, die dem Unterschiede der durch die Ströme nach den Pfeilen 2 auf die zwei Halbperipherien ausgeübten Kräfte gleich ist und nothwendig durch das Centrum a geht, indem sie aus Kräften resultirt, welche von diesen Strömen auf alle Elemente der Peripherie $etft_1$ nach gegen diese senkrechten, also mit den Halbmessern von $etft_1$ zusammenfallenden Richtungen geübt werden. Der nämliche Strom $etft_1$ (Pfeil 1) des Solenoids wird aber zugleich von den nach den Pfeilen 3 links am Solenoid vorbeigehenden Strömen abgestoßen, weil diese dem Halbkreise et_1f näher und dem Strome (Pfeil 1) darin entgegengesetzt sind. Stellt as_1 die Größe der Abstoßung vor, die aus dem Unterschiede der Actionen resultirt, welche die nach den Pfeilen 3 gehenden Ströme auf die zwei Halbkreise fte und et_1f ausüben, so ist $as_1 = as$ u. $\angle das_1 = \angle cas$, da zu beiden Seiten dieses Halbmessers offenbar Alles gleich ist; es wird somit die Resultirende at der Kräfte as und as_1 senkrecht zu diesem Halbmesser sein, und, da sie durch das Centrum a des Solenoids geht, dieses keine Anregung zur Drehung um seine Axe erhalten. In der That findet auch bei dem in Quecksilber schwimmenden Magnete keine solche Drehung Statt; er wird aber jeden Augenblick nach der auf den Halbmesser cad Perpendiculären at sich zu bewegen streben und demnach, da der Widerstand des Quecksilbers in jedem Augenblicke seine erlangte Ge-

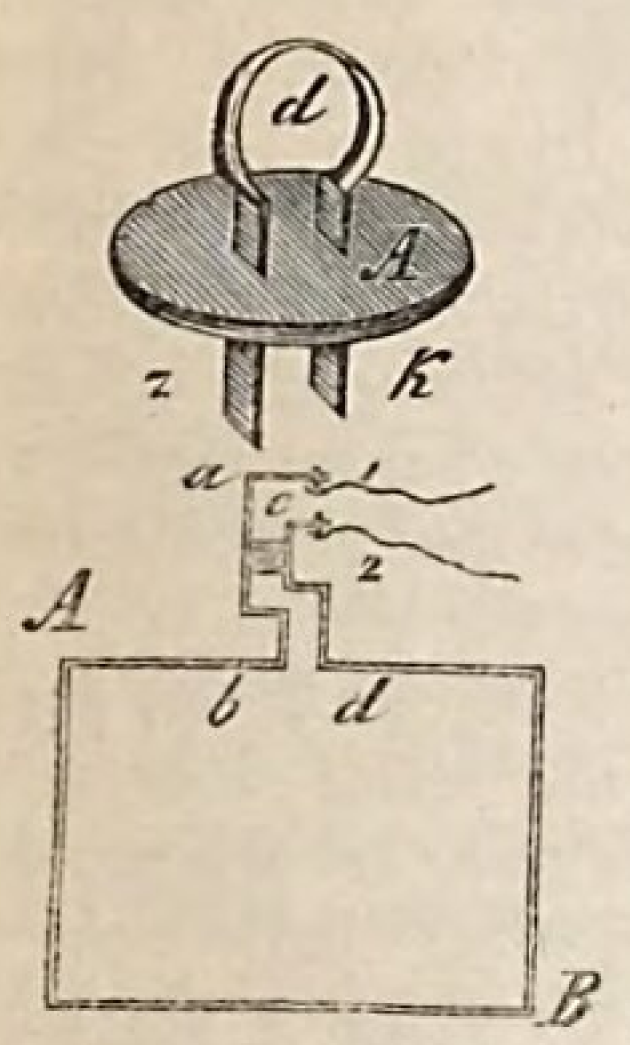
schwindigkeit vernichtet, eine auf alle Geraden, die wie cad durch c gehen, senkrechte Curve d. i. einen Kreis vom Halbmesser ac beschreiben.

245. Richtung und Rotation eines Volta'schen Stromes, bewirkt durch einen Magnet oder durch den Erdmagnetismus.

Da der Strom auf einen Magnet richtend und bewegend einwirkt, so war nicht zu zweifeln, daß umgekehrt solche Wirkungen ebenfalls von Seite eines Magnetes auf einen Strom geübt werden. In der That vermögen Magnete leichtbewegliche, von Strömen durchzogene Leiter zu richten und auf verschiedene Art in Bewegung, namentlich auch in Rotation zu versetzen.

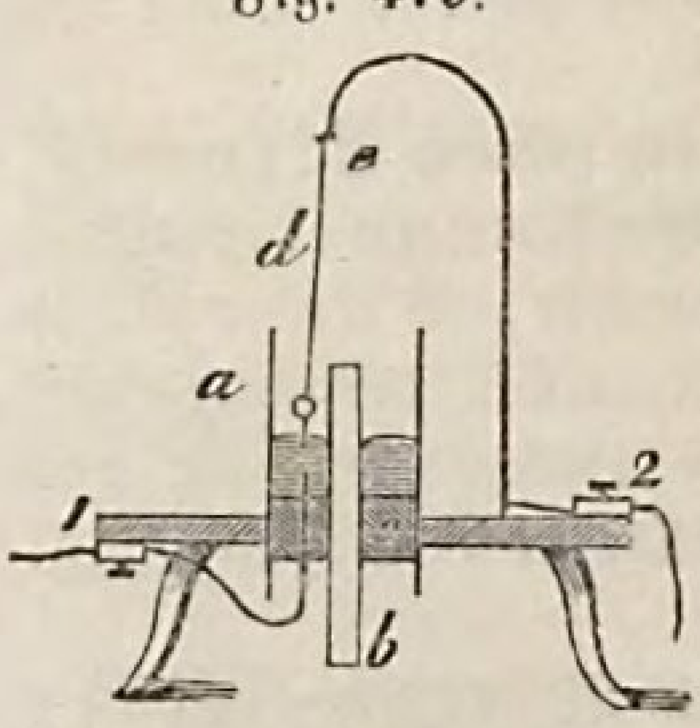
Die Richtung eines solchen Leiters durch Wirkung eines Magnetes oder des Erdmagnetismus läßt sich mittelst verschiedener Vorrichtungen nachweisen, von denen wir hier nur folgende betrachten wollen. A (Figur 478) ist eine Scheibe von Korkholz, in welcher ein Stück Zink z und ein Stück Kupfer k stecken, die durch einen Streifen oder Draht aus Kupfer d vereinigt sind. Macht man die Korkscheibe auf gesäuertem Wasser in einem weiten Gefäße schwimmen (wo dann ein Strom vom Kupfer zum Zink durch d geht) und nähert man dem Drahte den einen Pol eines kräftigen Magnetes; so erfolgt je nach Umständen Anziehung oder Abstoßung des Drahtes. Nähert man z. B. den Südpol von vorne her dem Ringe d bis auf eine gewisse Entfernung, so zieht der Pol den Schwimmer heran und dieser nimmt eine solche Stellung an, daß der Magnet durch den Ring geht und dieser in der Mitte des Magnetes steht. Bewegt man letzteren vor oder zurück, so erfährt auch der Ring ganz die nämliche Bewegung, um die besagte Stellung beizubehalten. Wird statt des Südpoles der Nordpol in der bezeichneten Weise dem Ringe genähert, so wird der Schwimmer abgestoßen, dreht sich um sich selbst herum und wird nachher, wie vorher dem Südpole gegenüber, angezogen. Daß, wenn man den Magnet als Solenoid betrachtet, dies Alles nothwendig aus den unter (†) S. 527 und (139) S. 530 ausgesprochenen Gesetzen fließt, sieht Jedermann von selbst ein. Ueberläßt man den (von de la Rive angegebenen) Schwimmer sich selbst, so stellt er sich immer so, daß die den Kupferdraht einschließende Ebene mit dem magnetischen Meridiane einen rechten Winkel bildet und kehrt, aus dieser Stellung herausgebracht, immer wieder in dieselbe zurück. Ganz die nämlichen Erscheinungen zeigt das in der Fig. 478 dargestellte Rechteck AB aus Kupferdraht, wenn die von einander isolirten Enden ab und cd mit den abwärts gerichteten Stahlspitzen in etwas Quecksilber enthaltende metallene Näpfchen 1, 2 tauchen, und von diesen Näpfchen, worin die besagten Spitzen auf kleinen wagrechten Glasplättchen ruhen, das eine mit dem positiven, das andere mit dem negativen Pole eines kräftigen Volta'schen Paares verbunden wird: es stellt der Erdmagnetismus das (um die Spitzen nun sehr leicht bewegliche) Drahtrechteck sogleich senkrecht auf die Ebene des magnetischen Meridians, und genäherte Magnetpole üben auch auf dasselbe Anziehung und Abstoßung. Kehrt man die Stromrichtung um, so macht im ersteren Falle das Rechteck eine halbe Umdrehung und kommt dann nach einigen Oscillationen wieder zur Ruhe.

Fig. 478.



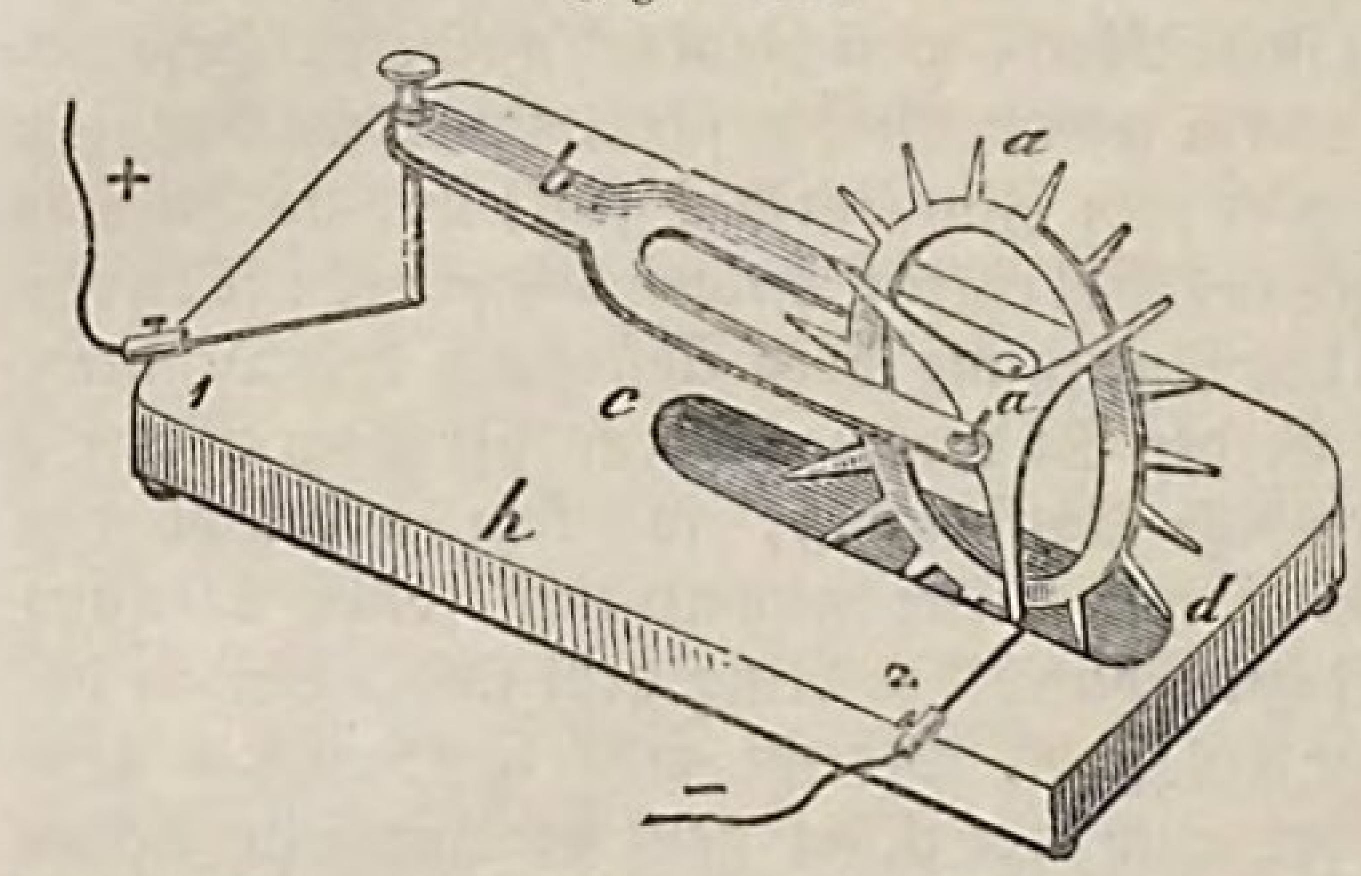
Das Rotiren des Stromes durch Wirkung eines Magnetes gelingt sehr leicht mit Hilfe folgender Apparate. An dem in Fig. 479 dargestellten Faraday'schen Apparatchen ist a ein unten mit einem Korkpfropfe c verschlossenes Glasröhrenstück; b ein Stäbchen aus weichem Eisen, das durch die Mitte des Pfropfes geht; a enthält ½—1″ hoch Quecksilber, über welches das Eisenstäbchen emporsteht. d ist ein dünner Platindraht, der oben bei ●, allerseits leicht beweg=

Fig. 479.



lich, eingehängt ist, mit seinem untern Ende nur äußerst wenig in Quecksilber taucht und durch ein in der Nähe dieses Endes angeschmolzenes Glaskügelchen stets außer Berührung mit dem Stäbchen b gehalten wird. Leitet man durch Verbindung der Klemmen 1, 2 mit den Polen einer einfachen Kette einen Strom durch den Apparat, so fängt der Platindraht d um das Stäbchen b zu kreisen an, sobald dieses durch Anhalten eines Magnetpoles an sein unteres Ende selbst in einen Magnet verwandelt worden. Mit dem Wechseln der Stromrichtung oder des Magnetpoles wechselt auch die Richtung des Rotirens. Ein Stahlmagnet leistet an der Stelle des durch Vertheilung magnetisirten Eisenstäbchens natürlich die nämlichen Dienste, nur gestattet letzteres leichter das Wechseln der Pole. — Bei dem in Fig. 480 abgebildeten, das

Fig. 480.

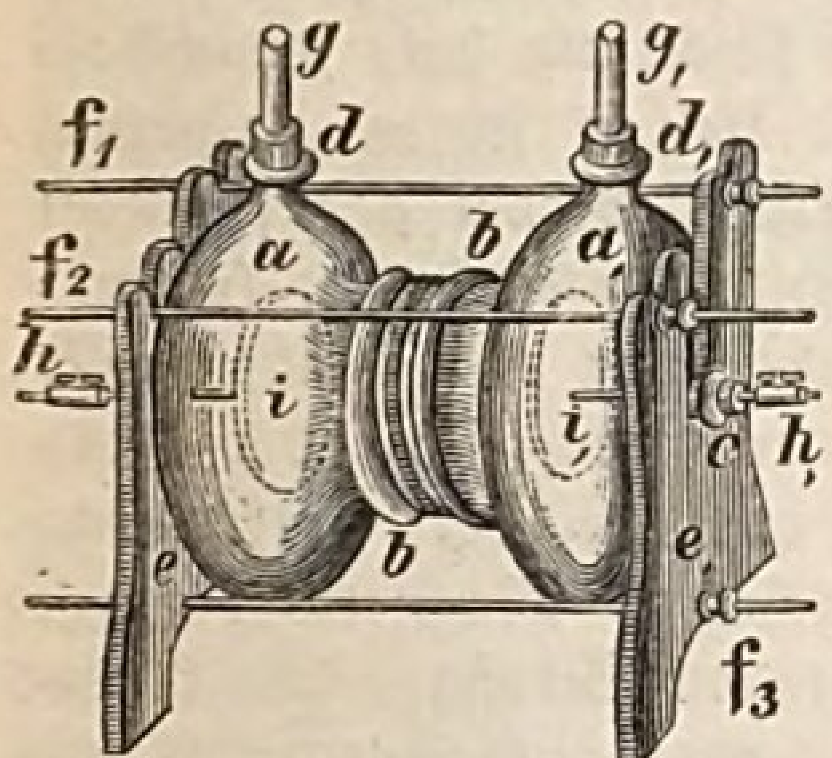


Barlow'sche Rädchen genannten Apparatchen können zur Erzeugung der rotirenden Bewegung eines Stromleiters gleichzeitig zwei entgegengesetzte Magnetpole angewendet werden. a ist ein kupfernes Sternrädchen, dessen stählerne Axe in Einschnitten an den einander zugekehrten Seitenwänden zweier Vertiefungen ruht, die an den Enden der kupfernen Gabel b angebracht und groß genug sind, um einige Tröpfchen Quecksilber aufzunehmen. Das Rädchen taucht mit einer oder zwei der Spitzen an seinem Umfange ganz wenig in Quecksilber, womit eine trogartige Vertiefung cd in der Holzplatte h angefüllt ist. Bringt man nun einerseits die Gabel b und andererseits das Quecksilber in cd mit den Polen einer einfachen Kette in leitende Verbindung (wozu die Klemmschraube 1 und die durch einen Draht mit cd communicirende Klemmschraube 2 dienen) und nahe an die zwei Seiten des Rädchens entgegengesetzte Magnetpole (etwa die zwei Pole eines Hufeisenmagnetes); so rotirt dieses letztere, indem jede Sternspitze desselben, weil sie beim Eintauchen in das Quecksilber die Kette schließt und so einen leicht beweglichen Theil des Stromleiters bildet, von beiden Magnetpolen fortgetrieben wird. Geht der durch das Quecksilber und das Rädchen geleitete Strom in letzterem vom Umfange zum Mittelpunkte und befindet sich auf der rechten Seite des Rädchens ein Süd- und auf der linken ein Nordpol; so dreht sich das Rädchen in der Richtung, wie ein Uhrzeiger weil die in beiden Polen des Magnetes (des Solenoids) niedergehenden, dem Rade näheren Ströme die in diesem aufwärts gehenden abstoßen. Bei Umkehrung des Stromes oder des Magnetes kehrt sich natürlich auch die Rotationsrichtung des Rädchens um. Die Rotation eines Stromes durch Wirkung des Erdmagnetismus zeigt ebenfalls der schon früher (in **242**) beschriebene und in Fig. 470 abgebildete Apparat. Der Draht cd rotirt nämlich, sobald man durch denselben und durch die Flüssigkeit in b mittelst der Drähte f, g einen Strom leitet. Die Rotation geht von Ost nach West, wenn der Strom die Richtung vom Centrum e gegen die Peripherie, und von West nach Ost, wenn er die umgekehrte Richtung hat.

246. Mechanische Wirkung Volta'scher Ströme. Sie äußert sich: 1. Durch Zerreißung flüssiger, in den Kreis starker Ströme eingeschalteter Materien, wie sie von Grove bei Untersuchung des Verhaltens geschmolzener Platin- und Bleidrähte im Strome der Volta'schen Säule beobachtet wurde; 2. durch Ueberführung von Materie an Stellen, wo der Stromkreis durch einen Nichtleiter

(Luft oder dgl.) in kurzer Strecke unterbrochen ist, wie beim elektrischen Lichtbogen, wo eine Bewegung glühender Kohlentheilchen von der + zur — Kohlen-Elektrode hin Statt findet; 3. durch Bewegung der einzelnen Theilchen in den Schließungskreis eingeschalteter Flüssigkeiten ebenfalls von der + zur — Elektrode. Letztere Bewegung wurde in neuester Zeit von Wiedemann näher untersucht. Folgender von demselben angegebene einfache Apparat (Fig. 481) gestattet eine leichte Beobachtung dieser Bewegung. a, a_1 sind zwei flaschenförmige Gefäße, deren jedes (bei c und d) doppelt tubulirt ist und überdies eine weitere mit einem dicken Glasrand b versehene Oeffnung hat. Beide Gefäße sind mit den Glasrändern auf einander geschliffen und vermittelst der Breter e, e und der 3 Schrauben f_1, f_2, f_3 fest aneinander gehalten. Der Rand b des einen Gefäßes ist innerhalb ein wenig ausgeschliffen, so daß sich in die dadurch gebildete Vertiefung zwischen den beiden Glasgefäßen Platten von verschiedenen Substanzen als poröse Scheidewände einkitten lassen. In jeden Tubulus d ist mittelst eines Korkes eine senkrechte Röhre eingesetzt und durch den Korkpfropf jedes Tubulus c geht ein Draht in's Innere des betreffenden Gefäßes; beide Drähte h, h_1 haben an ihren innern Enden kreisförmige Platten i, i_1 aus Platin angeschraubt. Wurde bei b eine Platte von porösem Thon eingekittet, der Apparat mit Wasser gefüllt, und es wird jetzt der Draht h mit dem +, der Draht h_1 mit dem —Pol einer Volta'schen Batterie verbunden; so steigt das Wasser in der Röhre g_1 und sinkt in der Röhre g; es wird also offenbar Flüssigkeit aus a nach a_1 hinübergeführt; zugleich entwickelt sich bei i Sauerstoff und bei i_1 Wasserstoff, die aus den Röhren entweichen. Wiedemann unterwarf dem Versuch Wasser, eine Lösung von Kupfervitriol, Zinkvitriol, schwefelsauren Kali, schwefelsauren Natron, verdünnten und absoluten Alkohol u. s. w. und fand folgende Resultate. Die in gleichen Zeiten von dem Volta'schen Strome durch verschiedene poröse Wände geführten Flüssigkeitsmengen sind der Stromstärke proportional; sie sind unabhängig von der Größe der Oberfläche der porösen Wände und von der Dicke derselben. Die Druckhöhen, bis zu welchen die Flüssigkeiten durch den galvanischen Strom ansteigen, sind der Stromintensität direkt und bei einem und demselben Strom und auch sonst gleichen Umständen der freien Oberfläche der Scheidewand umgekehrt, ihrer Dicke und ihrem spezifischen Widerstande aber direkt proportional.

Fig. 481.



Die elektrische Endosmose, der nun auch gelegenheitlich gedacht werden soll, und die darin besteht, daß, — wenn man durch zwei Flüssigkeiten, wovon die eine, eine Auflösung einer Säure und die andere eines Alkali oder eines Salzes in Wasser ist, und welche durch eine poröse Scheidewand getrennt sind, einen Strom entsprechender Stärke leitet, — das Niveau der einen Flüssigkeit steigt und das der andern sinkt, hat ihren Grund darin, daß jede solche Flüssigkeit eine Verbindung ist, in welcher das Wasser bald die Rolle des elektropositiven bald des elektronegativen Elementes spielt. Es wird immer das Niveau jener Flüssigkeit sinken, welche in einer Zeit mehr Wasser hergibt als sie von der andern Flüssigkeit empfängt. (Compt. rend. 9. Mai 1853. S. 826.)

247. Erregung elektrischer Ströme durch andere oder durch Magnetismus (Induction). Faraday hat im Jahre 1830 zuerst nachgewiesen, daß sowohl ein galvanischer Strom als auch der Magnetismus durch Wirkung in die Ferne in benachbarten Leitern Ströme hervorrufe. Man nennt den Act des Hervorrufens Induction, heißt die hervorrufenden Ströme primäre oder inducirende, auch Hauptströme, die hervorgerufenen hingegen secundäre oder inducirte, auch Nebenströme und unterscheidet eine Volta-elektrische und eine magneto-elektrische Induction, jenachdem diese (die Induction) durch einen Volta'schen Strom, oder durch Mag-

netismus bewirkt worden. Die magneto-elektrische Induction läßt sich übrigens sehr leicht auf die Volta-elektrische zurückführen, wenn man den inducirenden Magnet nach Ampère als einen von elektrischen Strömen umkreisten Körper, als ein Solenoid, betrachtet. Das Folgende enthält die Hauptgesetze der Induction, die Nachweisung und Anwendung derselben: 1. Jeder Volta'sche Strom erzeugt im Momente, wo er entsteht oder aufhört, in jedem benachbarten geschlossenen Elektrizitätsleiter einen Strom, welcher immer nur einen Augenblick dauert, und mit dem primären Strome entgegengesetzte oder einerlei Richtung hat, jenachdem er der Entstehung des letzteren oder dem Aufhören desselben seinen Ursprung verdankt. 2. Wird ein Leiter, durch welchen ein Volta'scher Strom geht, einem anderen geschlossenen Leiter rasch genähert oder von demselben entfernt, so entsteht auch in dem letzteren (Leiter) ein Strom, der wieder nur von momentaner Dauer und in der Richtung mit dem primären Strome entgegengesetzt oder übereinstimmend ist, jenachdem er bei dessen Annäherung oder bei der Entfernung desselben entstand. 3. Jeder Pol eines in Bewegung gesetzten Magnetes erzeugt in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen momentanen Strom, dessen Richtung auf jener der Bewegung senkrecht steht und gerade entgegengesetzt der Richtung ist, nach welcher ein Volta'scher Strom den besagten Leiter durchlaufen müßte, um durch seine Wirkung auf den Magnet den betreffenden Pol in dem nämlichen Sinne zu bewegen, in welchem die durch mechanische Mittel ihm ertheilte Bewegung vor sich gegangen. Dieser Regel zu Folge geht z. B. der sekundäre Strom von Ost nach West, wenn der Nordpol eines Magnetes von Süd nach Nord gegen den Leiter bewegt wird, weil durch diesen letzteren ein Volta'scher Strom von West nach Ost gehen müßte, damit er den Nordpol eines Magnetes von Süd nach Nord in Bewegung setzen kann. Auch ergibt sich aus der Regel, daß zwei sekundäre Ströme, wovon der eine durch den Nord- und der andere durch den Südpol eines Magnetes unter sonst gleichen Umständen hervorgerufen wurde, entgegengesetzte Richtungen haben, eben so wie zwei Ströme, wovon der eine durch Annäherung und der zweite durch Entfernung desselben Magnetpoles inducirt worden.

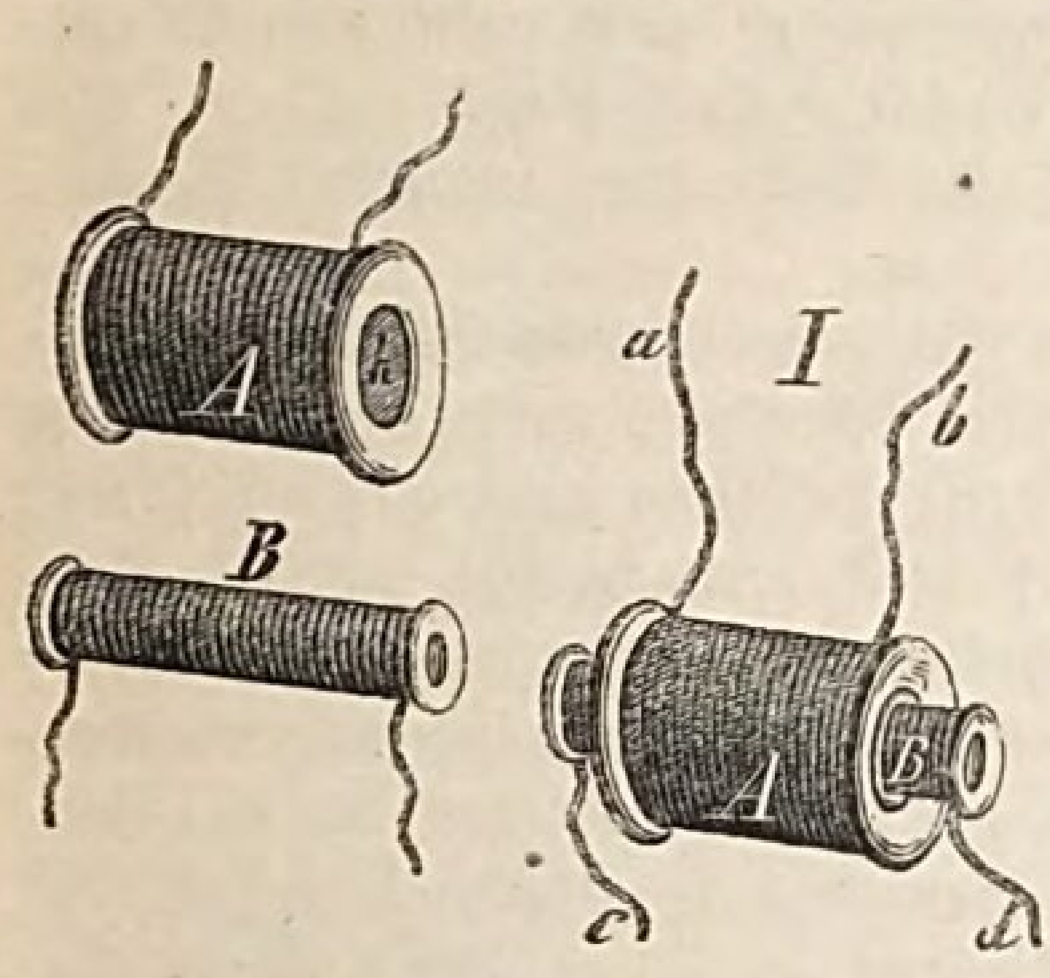
4. Der in weichem Eisen entstehende oder verschwindende Magnetismus wirkt auf benachbarte geschlossene Elektrizitätsleiter gerade so, als ob diesen letzteren ein mit dem entstehenden gleichnamiger Pol genähert oder von denselben ein mit dem verschwindenden Pole gleichnamiger Pol entfernt worden wäre.

5. In allen diesen Fällen bleibt der Erfolg derselbe, wenn man anstatt den Leiter des primären Stromes oder den Magnet zu bewegen (anzunähern oder zu entfernen), diese in Ruhe beläßt und dafür den sekundären Leiter auf gleiche Art in Bewegung setzt (annähert oder entfernt).

248. Nachweisung der Inductionsgesetze. Damit diese Gesetze entschieden und deutlich hervortreten, müssen die Inductions-Wirkungen nach dem Prinzipe der Multiplikation (**221**) verstärkt und zu diesem Ende als Leiter sowohl für den primären wie für den sekundären Strom Gewinde aus mit Seide übersponnenem Drahte angewendet werden. Man erhält solche, zugleich für die Anwendung sehr bequeme Gewinde am besten dadurch, daß derlei übersponnener Draht (aus Kupfer) in vielen neben und über einander laufenden Lagen auf hölzerne Spulen oder Rollen aufgewickelt wird. **A** und **B** (Fig. 482) stellen zwei, solche Drahtgewinde enthaltende Rollen (Inductionsrollen) vor. Ist die Höhlung **h** der einen Rolle (**A**) so weit, daß sich in dieselbe die zweite Rolle (**B**) einschieben läßt; so kann mittelst beider Rollen die Nachweisung der Inductionsgesetze in folgender Weise geschehen.

1. Gesetz. Man stecke die Rolle **B** in die Rolle **A** (wie dies in der Figur bei **I** anschaulich gemacht ist) und verbinde die Enden **a**, **b** des Drahtes auf **A** mit einem

Fig. 482.



empfindlichen Galvanometer. Werden nachher die Enden c, d des Drahtes der Rolle **B** mit den Polen einer galvanischen Kette vereinigt, so zeigt die Galvanometernadel einen durch das Drahtgewinde **A** gehenden (sekundären) Strom von mit dem primären Strom entgegengesetzter Richtung an, und die Nadel kehrt dann sogleich wieder in ihre ursprüngliche Gleichgewichtslage zurück. Wird hierauf (durch Trennen eines der Drahtenden c, d von der Kette) der Stromkreis geöffnet, so erfährt die Nadel abermals eine Ablenkung und diese ist wieder nur momentan, der vorigen aber gerade entgegengesetzt. Ganz das Nämliche erfolgt, wenn beide Drahtgewinde auf einer und derselben Rolle so enthalten sind, daß die Windungen des einen Gewindes über den Windungen des andern liegen oder mit diesen Windungen abwechseln, welches letztere dadurch erreicht wird, daß man auf eine Rolle gleichzeitig zwei neben einander laufende Drähte, deren jeder mit Seide übersponnen ist, aufwickelt. Um die multiplizirende Wirkung der Gewinde zu begreifen, darf man nur bedenken, daß jede einzelne Windung des vom primären Strome durchzogenen Drahtes in jeder Windung des zweiten Gewindes einen sekundären Strom hervorrufe; daß alle diese sekundären Ströme die nämliche Richtung haben, im Galvanometer zusammentreffen und so durch ihre Summe auf die Magnetnadel einwirken; daß diese Wirkung daher nahe im Verhältniß des Produktes der Windungszahlen beider Gewinde größer ausfallen müsse, als in dem Falle, wo unter sonst gleichen Umständen der inducirende (primäre) und der inducirte (sekundäre) Leiter geradlinige Drähte sind . . . (†). Ein Magnet wirkt wie ein System paralleler elektrischer Ströme (siehe S. 530 und 531).

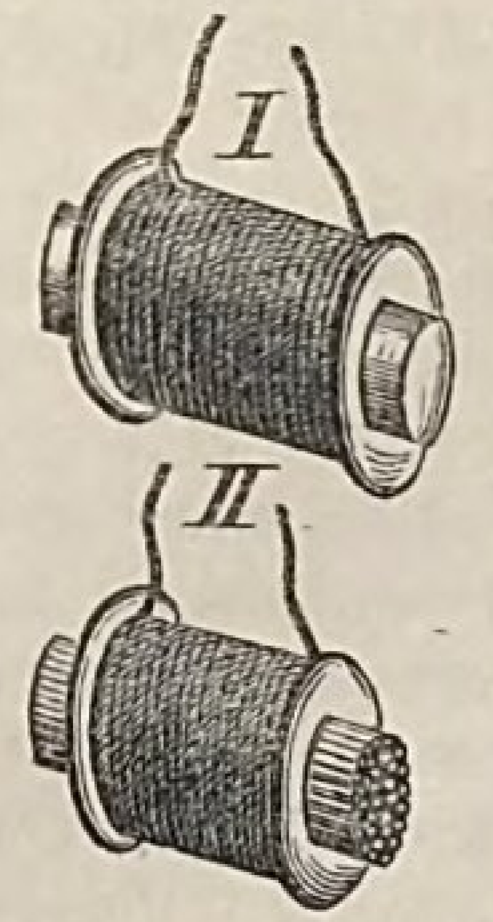
2. Gesetz. Dasselbe zeigt sich unzweideutig, wenn die Rolle **B**, während ihr Draht die galvanische Kette schließt, rasch in die Höhlung **h** der Rolle **A** eingeschoben und nachher wieder herausgezogen, oder umgekehrt verfahren wird. In jedem Falle weist die Nadel des mit dem Drahtgewinde auf **A** vereinigten Galvanometers in diesem Gewinde einen inducirten Strom nach. Beide Ströme dauern nur so lange als die Bewegung des besagten Einschiebens und Herausziehens, und haben, wie die Ablenkungsrichtung der Galvanometernadel nachweiset, die in **247** unter 2. bezeichneten Richtungen. Daß die eine dieser Bewegungen der anderen immer erst folgen darf, nachdem die Galvanometernadel wieder zur Ruhe gekommen, versteht sich von selbst.

3. Gesetz. Zur Nachweisung dieses Gesetzes braucht man nur in die Höhlung **h** der (mit dem Galvanometer verbundenen) Rolle **A** den einen Pol eines kräftigeren Magnetstabes einzuschieben und nachher wieder herauszuziehen. Die Galvanometernadel wird dabei zwei Ströme von der in **247** unter 3. angegebenen Beschaffenheit anzeigen. Diese Ströme werden ganz im Geiste des Gesetzes entgegengesetzte Richtungen haben, jenachdem ein und derselbe Magnetpol eingeschoben oder herausgezogen wird, jenachdem der im nämlichen Sinne bewegte Pol ein Nord- oder ein Südpol ist und jenachdem bei sonst gleichen Umständen die Drahtwindungen auf der Inductionsrolle in Bezug auf die Lage des betreffenden Poles von rechts nach links oder umgekehrt gehen, also z. B. ein und derselbe Pol, auf der einen oder andern Seite der Rolle dargeboten wird. Diese Rolle muß natürlich so weit vom Galvanometer entfernt sein, daß der zum Versuch dienende Magnetstab nicht unmittelbar auf die Galvanometernadel einwirken kann. Auch sieht man ein, daß zwar beide Magnetpole inducirend wirken, daß aber nur die überwiegende Wir-

kung des dem Drahtgewinde näheren Poles hervortritt, daß keine Induction stattfinden könne, wenn bei der Bewegung des Magnetes zu oder von dem Drahtgewinde die Abstände beider Pole gegen letzteres einander stets gleich bleiben, und daß beim Durchziehen des ganzen Magnetes durch die Rolle zwei inducirte Ströme entgegengesetzter Richtung erscheinen müssen.

4. Gesetz. Bringt man in die oft erwähnte Höhlung h einen Stab oder (besser) ein Drahtbündel aus weichem Eisen (am entsprechendsten der Art, daß Stab oder Bündel diese Höhlung ganz ausfüllt, wie bei I und II in Fig. 483 anschaulich gemacht ist), nähert hierauf dem einen Ende des so erhaltenen Eisenkernes in der Richtung seiner Axe oder von der Seite her einen hinreichend starken Magnetpol und entfernt diesen dann wieder; so hat man alle Bedingungen zur Constatirung des fraglichen Gesetzes. Es zeigt nämlich der in dem Eisenkerne zu Folge Vertheilung entstehende gleichnamige Pol (die Wirkung des gleichzeitig hervorgerufenen ungleichnamigen Poles wird, wenigstens zum größten Theile, durch die entgegengesetzte Wirkung des angenäherten Poles aufgehoben) und das Verschwinden der Polarität des Eisenkernes bei nachheriger Entfernung des Magnetpoles von diesem den nämlichen Einfluß auf die Galvanometernadel, wie wenn der Magnetpol selbst in die Höhlung h eingeschoben und nachher wieder herausgezogen wird.

Fig. 483.



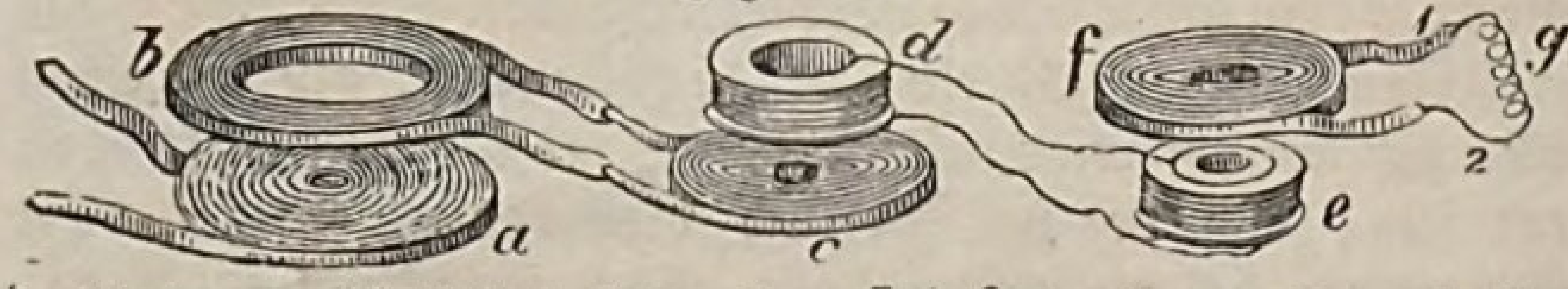
Werden gleichzeitig beiden Enden des Eisenkernes die zwei ungleichnamigen Pole (eines Hufeisenmagnetes oder zweier gerader Magnetstäbe) angenähert, oder davon entfernt, so tritt die Induction um so kräftiger hervor, weil die zwei ungleichnamigen Pole in den bezüglich ihrer Lage nach entgegengesetztem Sinne gewickelt erscheinenden Drahtwindungen Ströme induciren, die einerlei Richtung haben, sich in ihrem Effekte also summiren.

5. Gesetz. Daß man zu dessen Nachweisung nur die Rolle **B** oder den besprochenen Magnetstab in Ruhe belassen, hingegen die Rolle **A** in Bewegung zu setzen habe, leuchtet für sich ein.

Ein durch Induction erzeugter Strom kann wieder einen andern induciren, dieser einen dritten u. s. w. hervorrufen; es lassen sich also inducirte Ströme höherer Ordnung (tertiäre, quaternäre Ströme u. s. w.) erzeugen, und es findet in der Richtung dieser Ströme, von dem ersten sekundären ab, immer eine Abwechslung Statt. Es geschieht die Induction auch innerhalb eines und desselben Leiters, so daß der inducirende und der inducirte Strom den nämlichen Leiter durchfließen. So entsteht in jedem Drahtgewinde, womit eine Volta'sche Kette geschlossen ist, ein je nach der Zahl der Windungen mit mehr oder weniger Kraft auftretender inducirter Strom, sobald die Kette geschlossen oder geöffnet wird. Man nennt einen solchen durch einen primären in dem nämlichen Leiter hervorgerufenen sekundären Strom, nach Faraday, Extrastrom, nach Andern, Gegenstrom, und er hat, jenachdem er beim Schließen oder beim Oeffnen der Kette entsteht, mit dem primären Strome entgegengesetzte oder einerlei Richtung, ist, nach Edlund, unter sonst gleichen Umständen der Intensität des inducirenden Stromes proportional und besonders deutlich hervortretend, wenn sich in der Leitung eine Drahtrolle mit einem Kerne aus weichem Eisen befindet.

Die inducirten Ströme höherer Ordnung hat Henry mittelst der in Fig. 484 abgebildeten Vorrichtung nachgewiesen. a, b, c, f sind aus bandförmigen Kupferstreifen gebildete Spiralen, deren einzelne Windungen durch zwischenliegende Seidenbänder wohl isolirt sind; d, e sind Inductionsrollen mit Gewinden aus mit Seide übersponnenem Kupferdrahte. Wird durch a der primäre Strom geleitet, so lenkt der in f inducirte Strom 4. Ordnung nicht nur eine zwischen 1, 2 eingeschaltete Galvanometernadel ab, sondern

Fig. 484.



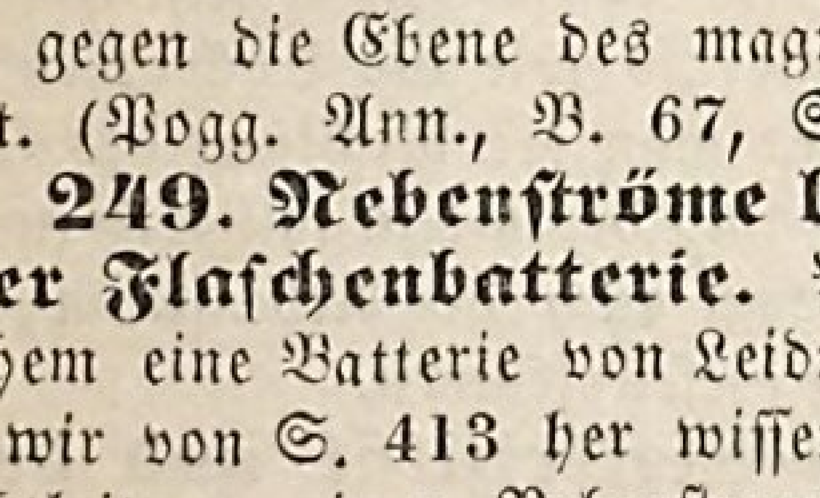
ist, wenn die Gewinde hinreichend viele Windungen enthalten und der primäre Strom stark genug ist, auch im Stande, ein in die Drahtspirale g gelegtes Eisenstäbchen magnetisch zu machen und, wenn man an den Drähten 1, 2 festgemachte metallene Conductoren (siehe in **219** auf S. 441) in die Hände nimmt, empfindliche Stöße hervorzubringen. Bandspiralen, wie a oder c, sind überhaupt bei Inductionsversuchen sehr wirksam. Bei dem derartigen Apparate, mit welchem Henry selbst experimentirte, bestand a aus einem 90′ langen $1^1/_2''$ breiten Kupferband; in b, c, f hatte das Band 60′ Länge und nur $^3/_4''$ Breite; die Rollen d, e enthielten $^1/_{49}''$ dicken Kupferdraht, erstere von 1660 und letztere von 990 Yards Länge. Der primäre Strom ging durch a, und beim Oeffnen dieses + Stromes war die Richtung des sekundären Stromes in b und c auch +, des tertiären Stromes in d, e hingegen —, und des quaternären Stromes in f wieder +.

Offene Spiralen, d. h. solche, deren Enden weder durch das Drahtgewinde eines Galvanometers noch sonst auf eine Art leitend verbunden sind, zeigen, nach Sinsteden, in den Fällen, wo in ihnen, wenn sie geschlossen sind, die eben besprochenen inducirten Ströme hervorgerufen werden, bei entsprechender Anordnung des Apparates, Erscheinungen elektrischer Spannung. Es gibt nicht nur jedes Ende des ungeschlossenen Drahtes am Elektroskope Anzeigen starker E, sondern auch Funken, wenn ihm ein Leiter genähert wird, und verursacht, mit der Haut in Berührung gebracht, empfindliches Brennen. Diese Spannungs-Erscheinungen zeigen sich bedeutend verstärkt, wenn das eben nicht in Untersuchung genommene Spiraldrahtende mit der Erde in leitender Verbindung steht. Faßt man mit der Hand das Ende der Inductionsspirale, welches von den äußersten Windungen kömmt, und berührt mit der zweiten Hand das eine oder das andere Ende der inducirenden Spirale; so erhält man ganz merkliche, bis ins Handgelenke sich erstreckende Erschütterungen. Es gelingt mit der auf eben besprochenem Wege erhaltenen Spannungselektrizität auch, eine Leidner Flasche zu laden. Das Nähere über alle diese Erscheinungen so wie über das Verfahren, sie hervorzubringen, findet man in Pogg. Ann. B. 69, S. 353 und B 85 S. 465.

Auch der Erdmagnetismus inducirt Ströme in Leitern, indem auf diese, nach Ampère's Hypothese gesprochen, die Erde durch ihren mittleren Strom (S. 531) wie irgend ein anderer von einem Strome durchzogener Leiter einwirkt. Nach Faraday gelingt diese Induction durch den Erdmagnetismus augenfällig, wenn eine aus vielen Windungen gebildete Inductionsspirale mit ihrer Axe im magnetischen Meridian rasch aus der Richtung der Inclination heraus und wieder in sie zurückbewegt wird, während die Enden der Spirale mit einem empfindlichen Galvanometer in Verbindung stehen. Palmieri und Linari erhielten durch den Erdmagnetismus inducirte Ströme, welche heftige Erschütterungen, Wasserzersetzung und Funken bewirkten, mittelst eines Apparates, der aus einem elliptischen Holzrahmen bestand, um dessen Peripherie 200 Windungen eines $1{\cdot}5^{m.m}$ dicken Kupferdrahtes herumgingen. Die große Axe der Ellipse war 1·2 und die kleine 0·9 Meter lang. Der Rahmen wurde um seine senkrecht gegen die Ebene des magnetischen Meridians gestellte große Axe schnell gedreht. (Pogg. Ann., B. 67, S. 244.)

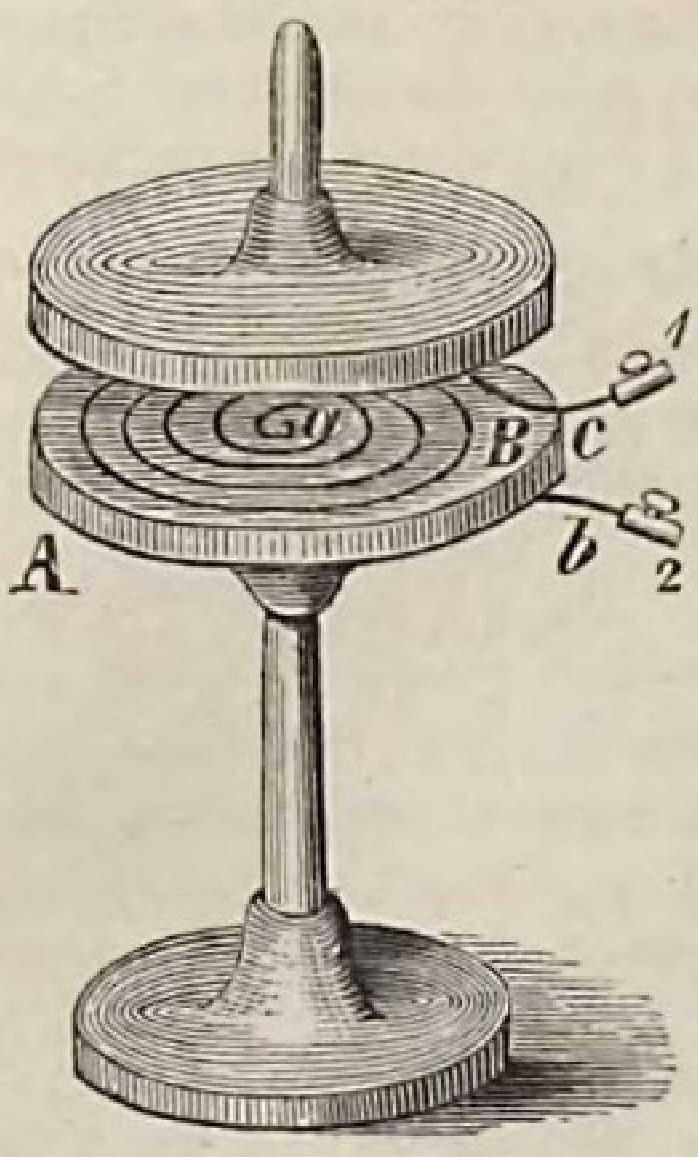
249. Nebenströme bei Entladung elektrischer Flaschen oder einer Flaschenbatterie. Auch der durch einen längeren Metalldraht, mit welchem eine Batterie von Leidner Flaschen entladen wird, gehende Strom kann, wie wir von S. 413 her wissen, in einer in der Nähe befindlichen geschlossenen Drahtleitung einen Nebenstrom hervorrufen. Rieß hat die Existenz dieses Nebenstromes zuerst mittelst der in Fig. 485 dargestellten Vorrichtung nachgewiesen. Der spiralförmig um eine dünne Glasröhre gewundene Kupferdraht AA_1 ist derjenige Draht (Hauptdraht), durch welchen die Batterie entladen wird; der Draht (Nebendraht), in welchem der Nebenstrom inducirt wird, ist die zweite über eine weitere Glasröhre geschobene Kupferdrahtspirale BB_1, deren Enden a, b mit einer dritten ebenfalls auf einer Glasröhre aufgewundenen Spirale CD vereinigt sind. Die Existenz des Nebenstromes bei Entladung einer hinreichend starken elektrischen Flasche oder Flaschenbatterie gibt

Fig. 485.



sich dadurch kund, daß bei b, wenn daselbst die Verbindung aufgehoben und das eine Drahtende von dem andern etwas entfernt ist, ein Funke überspringt und daß, wenn sich in der Glasröhre der Spirale CD eine Stahlnadel (etwa eine englische Nähnadel) befindet, diese magnetisch wird. Später gab Rieß der Haupt= und der Nebenspirale die bequemere flache Form, welche in Fig. 486 anschaulich gemacht ist. AB ist eine Holzscheibe von 1′ Durchmesser, deren Fläche eine spiralförmige Rinne von etwa 30 Umgängen eingeschnitten enthält, in welcher ein ½‴ dicker Kupferdraht eingekittet ist. Zu diesem Ende wird schon vor Einlegen des Drahtes die Scheibe dünn mit schwarzem Pech überzogen, nachher der in die Rinne gelegte Draht darin mittelst einer aufgelegten heißen Metallplatte festgekittet, nun werden die Zwischenräume der Drahtringe mit Pech ausgefüllt, und endlich wird die Oberfläche mittelst einer heißen Metallplatte geebnet. Die so erhaltene ebene Drahtspirale, deren Enden ab und c mit Schraubenklemmen 1, 2 versehen sind, bildet, von einem gläsernen Fuße in horizontaler Lage getragen, den Hauptdraht. Den Nebendraht bildet die Spirale einer ganz gleichen zweiten Scheibe, die mit einer gläsernen Handhabe versehen ist, und auf die eben beschriebene Scheibe wie die obere Condensatorplatte auf die untere aufgesetzt wird. Um beide Spiralen von einander in verschiedener Weite entfernt zu halten, werden zwischen dieselben Glasplatten von verschiedener Dicke gelegt, und in größere, gegenseitige Abstände lassen sie sich leicht durch Zwischenlegen gefirnißter, entsprechend dicker Holzstäbe bringen.

Fig. 486.



Der so erhaltene elektrische Nebenstrom, der auch nur von sehr kurzer Dauer ist, erzeugt, so wie der Entladungsstrom, physiologische, Licht=, Wärme= und magnetische Wirkungen; er nimmt in dem nämlichen Verhältnisse ab, in welchem die Entfernung des dem Hauptdrahte parallelen Nebendrahtes von ersterem wächst, und hat immer einerlei Richtung mit dem Hauptstrome. Letzteres ermittelte Rieß mittelst eines Harzkuchens. Bringt man nämlich die Enden zweier Drähte, wovon der eine von der inneren, der andere von der äußeren Belegung einer geladenen Leidner Flasche kommt, mit den beiden Seiten eines dünnen Harzkuchens so in Berührung, daß sie einander gegenüberstehen; so bilden sich auf diesen Seiten Figuren, die, durch Behauchen oder Bestauben sichtbar gemacht, so wie die Lichtenberg'schen Figuren sich verschieden zeigen, und aus welchen man die Richtung des Stromes erkennen kann. — Offenbar ging durch den Draht, der die strahlige Figur erzeugte, der + Strom. Ganz ähnliche Figuren erzeugt auch der Nebenstrom, und es ergibt sich daher aus denselben auch die Richtung dieses letztern.

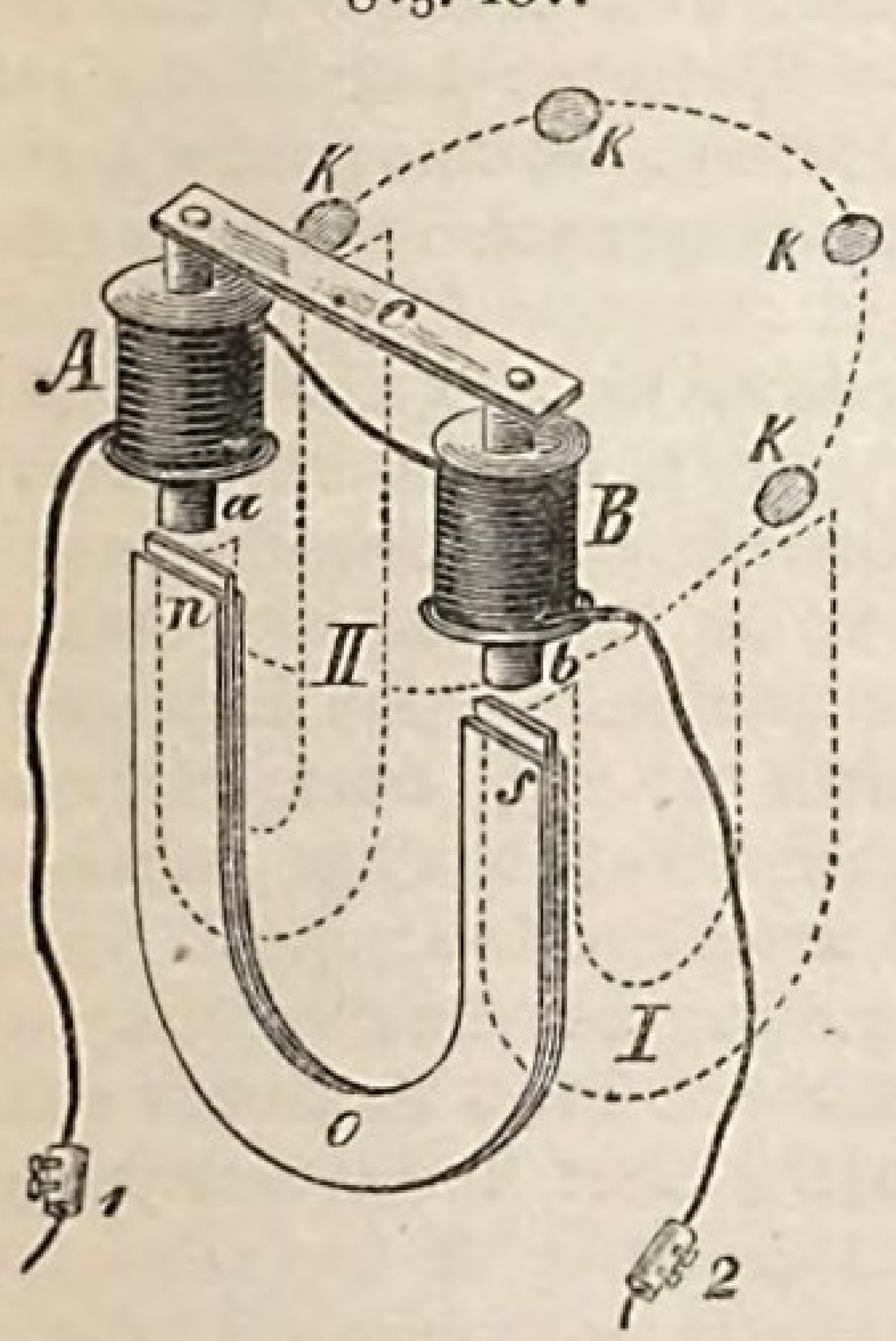
250. Wirkungen der durch Volta=Elektrizität und durch Magnetismus inducirten Ströme. Diese Ströme bringen, wie wir zum Theil schon in dem Vorhergehenden erfahren haben, alle Wirkungen der Volta=schen (primären) Ströme hervor, so daß sie, durch kräftige Inductionsmittel erregt und durch Multiplikation noch weiter gehörig verstärkt, glänzende Funken, starke Glühphänomene, elektrolytische und elektromagnetische Erscheinungen, empfindliche Erschütterungen u. s. w. erzeugen.

Wird mit der vorn beschriebenen und in Fig. 484 mit a bezeichneten Kupferbandspirale auch nur eine kleine Volta'sche Batterie oder selbst blos eine einfache Kette geschlossen, nachdem auf die Spirale eine Glastafel und auf diese die in derselben Figur mit d bezeichnete Rolle, die 1660 Yards Draht enthält, gelegt worden, so erscheint bei jedem Oeffnen der Kette, wenn die Enden des Drahtes dieser Rolle zusammengerieben und nachher getrennt werden, ein Funke; werden sie mit

einer Magnetisirungsspirale verbunden, so zeigt eine in diese eingeschlossene Nadel sich stark magnetisch; werden sie mit den Enden des um einen hufeisenförmigen weichen Eisenstab gewundenen Drahtes vereinigt, so wird dieser magnetisch, und werden sie mit einem Wasserzersetzungsapparate in Verbindung gesetzt, so erscheint an beiden Elektroden Gas. Auch erhält man durch das Drahtgewinde d einen wenn auch nur schwachen Schlag. Wird diesem Gewinde ein längeres substituirt (wie man es durch Vereinigung der Rolle d mit noch 2 oder 3 andern solchen Rollen erhält), so wird der Funke und die magnetisirende Kraft schwächer, jedoch die Stärke der Schläge größer, während die Zersetzungskraft nahe dieselbe bleibt. Derartige Inductionswirkungen erfolgen auch auf bedeutende Entfernungen, z. B. durch eine Thüre oder Wand hindurch, welche das inducirende und das inducirte Gewinde trennt. Nur die Dazwischenstellung metallener Leiter hebt die Induction mehr weniger auf.

Die Wirkungen der durch Magnetismus inducirten Ströme werden am eklatantesten und zugleich auch am bequemsten mittelst einer sogenannten magneto-elektrischen Rotationsmaschine hervorgebracht. Unter den verschiedenen, von Pixii, Saxton, Clarke, v. Ettingshausen u. s. w. erdachten Maschinen dieser Art soll im Nachstehenden die den Leistungen nach vorzüglichste, vom Mechaniker Stöhrer in Leipzig construirte in ihrer Einrichtung und Anwendung beschrieben werden. Bei dieser, so wie bei allen derartigen Rotationsmaschinen sind vorzüglich die magneto-elektrischen Inductionsströme, welche durch in weichem Eisen entstehenden und verschwindenden Magnetismus erzeugt werden, wirksam (man sehe unter 4. S. 538). Folgende vorläufige Betrachtung wird das Verständniß des Wesens und Wirkens der Maschine erleichtern. Es stelle nos (Fig. 487) einen kräftigen, hufeisenförmigen Stahlmagnet und A, B zwei, viele Drahtwindungen enthaltende Inductionsrollen vor, in welchen Kerne a, b aus weichem Eisen stecken, die einerseits durch ein anderes weiches Eisenstück c zu einem Ganzen vereinigt sind, so daß dieses dem Magnet nos als Anker dienen kann. Die Windungen auf den Rollen seien aus einem und demselben sehr langen, mit Seide übersponnenen Drahte gebildet und gehen auf beiden Rollen in entgegengesetzter Richtung. Der zuerst hinreichend oft z. B. von rechts nach links um die eine Rolle herumgewickelte Draht sei dann auf die zweite Rolle hinüber geleitet und auch eben so oft um diese, aber von links nach rechts herumgewickelt worden. Die beiden Enden des Drahtgewindes seien ferner in metallenen Schraubenklemmen 1, 2 festgemacht. Denkt man sich nun den Magnet unter dem Inductor (d. i. dem Anker mit den Inductionsrollen) so hinbewegt, daß der eine Pol (z. B. n) dem einen Ankerschenkel (z. B. a) und der zweite Pol (s) dem andern Schenkel (b) rasch genähert wird (indem man z. B. den Magnet in die Stellung, die er in der Figur hat, aus der in derselben Figur punktirt angedeuteten Stellung I von rechts nach links bewegt); so wird in dem Inductordrahte ein Strom inducirt, der (nach 3. S. 537) in den Gewinden beider Rollen die nämliche Richtung hat. Wird hierauf der Pol n vom Ankerschenkel a und der Pol s vom Schenkel b rasch entfernt (indem man den Magnet aus seiner Stellung in die punktirte Stellung II bewegt); so entsteht im Inductordrahte wieder ein inducirter, mit dem vorigen gleich starker Strom, dessen Richtung in den Gewinden beider Rollen abermals übereinstimmend, aber jener des ersteren

Fig. 487.

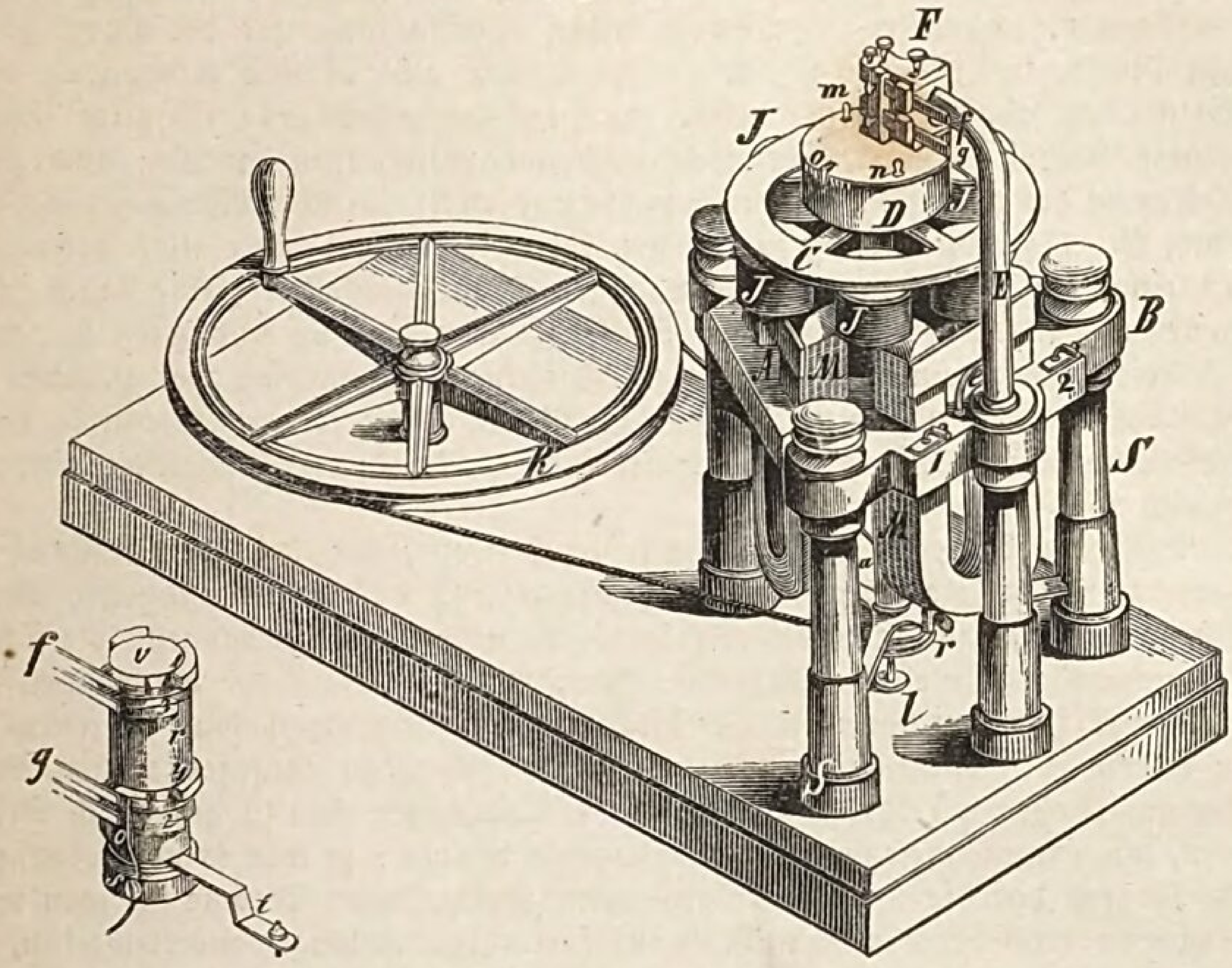


Stromes entgegengesetzt ist*). Beide Ströme durchziehen auch jeden Leiter, durch welchen man die Klemmen 1, 2 mit einander verbindet, so daß, wenn dieser Leiter ein ununterbrochener Draht ist, derselbe eine Magnetnadel successive nach entgegengesetzten Seiten hin ablenkt. Wird der zur Verbindung der Klemmen angewendete Draht irgendwo unterbrochen, so springt während jeder der beschriebenen Bewegungen des Magnetes an der Unterbrechungsstelle von einem Drahtende auf das hinreichend nahe gebrachte andere ein lebhafter Funke über, und nimmt man in jede Hand ein Ende des unterbrochenen Verbindungsdrahtes, so verspürt man sowohl bei der Annäherung der Magnetpole an die Ankerschenkel als bei deren Entfernung davon eine Erschütterung u. s. w. Mit jeder in der beschriebenen Art stattfindenden Wiederholung der besagten Annäherung und Entfernung der Magnetpole wird natürlich ein neues Paar einander entgegengesetzter inducirter Ströme in dem Inductordrahte hervorgerufen. Sind daher mehrere, den in der Figur dargestellten gleiche Inductoren neben einander so angeordnet, daß die untern Flächen der Ankerschenkel in einer horizontalen Ebene und in einem Kreise, ferner von einander gleichweit entfernt liegen (etwa an den in der Figur durch kleine Kreise k angedeuteten Stellen) und man macht den Magnet nos in aufrechter Stellung so rotiren, daß seine Pole, einer nach dem andern, unter den besagten Ankerschenkel-Flächen und sehr nahe an denselben im Kreise sich rasch herumbewegen; so wird in kurzer Zeit eine sehr große Zahl schnell nach einander folgender Ströme von abwechselnd entgegengesetzter Richtung in den Drahtgewinden inducirt und aus diesen dem die Schraubenklemmen 1, 2 vereinigenden Leiter zugeführt. Dieser erfährt daher die Wirkung aller dieser Ströme. Daß die besagte Zahl der einander rasch folgenden, inducirten Ströme noch größer werden müsse, wenn man statt nur eines Hufeisenmagnetes mehrere, am besten eben so viele als Inductoren vorhanden sind, nach einander unter den Inductoren-Schenkeln rotiren macht, und daß sich der Wesenheit nach alles gleich bleibe, wenn man das Magnetsystem fest und die Inductoren um eine gemeinschaftliche Vertikalaxe über den in einem Kreise angeordneten Magnetpolen rotiren macht, bedarf wohl nicht erst einer Erwähnung.

Nach diesen Prämissen wird es nun nicht schwer sein, die oben erwähnte und in Fig. 488 abgebildete Stöhrer'sche Rotationsmaschine zu begreifen. Auf einer Bohle (einem dicken Brete), zwischen drei in einem Dreiecke aufgestellten hölzernen mit **S** bezeichneten Säulen sind 3 Hufeisenmagnete **M, M, M**, deren jeder aus 6 Lamellen zusammengesetzt ist, in vertikaler Stellung angeordnet, so daß zwischen je zwei der Säulen ein Magnet steht. In den Mittelpunkten der nach unten gekehrten Bögen sind die Magnete nämlich in einem messingenen Kreuze befestigt, welches zwischen den Säulen **S** mittelst einer Schraube sich höher und niedriger stellen läßt, und mit den Schenkeln gehen die Magnete durch eine von den Säulen getragene starke Holzplatte **AB** und sind darin auf und ab verschiebbar. Die 6 Polflächen aller 3 Magnete liegen in horizontaler Ebene in der Peripherie eines Kreises und stehen

*) Diese Ströme werden durch drei zusammenwirkende Ursachen erzeugt, nämlich: 1. Durch unmittelbare Einwirkung des Magnetes auf das Drahtgewinde des Inductors. 2. Durch den im Anker bei Annäherung und Entfernung des Magnetes entstehenden und verschwindenden Magnetismus und 3. durch Einwirkung des in jeder einzelnen Drahtwindung entstehenden Stromtheiles auf die übrigen Windungen. Die beiden letzteren Ursachen sind die bei weitem überwiegenden. Das Bestehen der letzten Ursache, welches wir bisher noch nicht nachgewiesen haben, folgt unzweifelhaft schon aus dem Umstande, daß man bei Unterbrechung des Stromes eines Volta'schen Elementes, welches mit einer aus vielen, nahe an einander liegenden und durch Seide isolirten Windungen bestehenden Drahtspirale geschlossen ist, auch dann noch einen hellen Funken erhält, wenn dieses Element, durch einen kurzen Draht derselben Dicke und materiellen Beschaffenheit entladen, keinen Funken zu geben vermag.

Fig. 488.



gleichweit von einander ab. Sechs Inductionsrollen **J, J...** (bestehend aus Spulen von Holz, die viele Windungen aus 1 Millimeter dickem, mit Seide übersponnenem Drahte enthalten) stecken auf Eisenkernen, die mit den obern Enden in dem Reife **C** aus weichem Eisen, den 6 Magnetpolen correspondirend, festgeschraubt sind. Die 12 Drahtenden der 6 Inductionsgewinde laufen von unten her in die Messingbüchse **D**, und können darin, indem man den Deckel der Büchse mittelst der emporragenden Zäpfchen **m, n** nach einer oder der andern Seite hin mehr oder weniger dreht, auf 4 verschiedene Arten unter sich und mit dem (nachher zu beschreibenden und seitwärts separat abgebildeten) Commutator verbunden werden. Die Verbindung Nr. 1 vereinigt die 2 Drahtenden jeder einzelnen Inductionsspirale mit den zwei Enddrähten des Commutators; die Verbindung Nr. 2 vereinigt je zwei so nacheinander folgende Spiralen, daß eine Spirale die Fortsetzung der andern bildet, mit den besagten Enddrähten des Commutators; die Verbindung Nr. 3 vereinigt je drei Spiralen mit dem Commutator und die Verbindung Nr. 4 vereinigt die zwei äußersten Drahtenden aller 6 unter sich verbundenen und nach einander folgenden Spiralen mit den zwei Drähten des Commutators. Wie weit und in welchem Sinne der besagte Deckel zur Herstellung jeder dieser 4 Verbindungen zu drehen sei, wird durch Marken auf der Peripherie der Büchse und durch einen am Deckel festgemachten und über diesen Marken verschiebbaren Zeiger **o** angezeigt...(†). Die vorerwähnten zwei Enddrähte des Commutators stehen mit den zwei Schraubenklemmen **1, 2** in leitender Verbindung, so daß die beim Rotiren des Inductors (der Drahtgewinde **J, J...** und des Reifes **C**, der den Zweck hat, die an den ihn berührenden Enden der Eisenkerne entstandenen Polaritäten zu neutralisiren und so die Wirkung zu erhöhen) um die vertikale Axe **a** (die unten eine Rolle **r** hat und mittelst einer um diese Rolle gehenden Schnur und des Rades **R** in Bewegung gesetzt wird) inducirten Ströme von den Klemmen **1, 2** aus verwendet werden können. Da ein derartiger Strom eine große Quantität oder eine große Intensität besitzt, jenachdem er in einem kurzen, aber dicken, oder in einem sehr langen und dünnen Drahte inducirt worden, so wählt man die oben besagte Verbindung

Nr. 1 (bei welcher die Drähte aller 6 Inductionsrollen gleichsam neben einander gelegt erscheinen, so daß sie einen Draht bilden, der so lang wie der Draht einer solchen Rolle, und so dick ist, wie die 6 Drähte aller Rollen zusammen), wenn es sich um die größte Stromquantität, wie zur Hervorbringung lebhafter Funken, eklatanter Glühphänomene, oder magnetisirender Wirkungen handelt; hingegen ist zu Erzielung der heftigsten Erschütterungen und elektrolytischer Wirkungen die Verbindung Nr. 4 in Anwendung zu bringen, bei welcher die Drähte aller Inductionsrollen einen einzigen dünnen und sehr langen Draht darstellen (seine Länge ist die Summe der Längen der Drähte aller Rollen). Von den Verbindungen Nr. 2 und Nr. 3 liefert erstere einen Strom von nächst kleinerer Quantität, aber größerer Intensität als die Verbindung Nr. 1, und bei Nr. 3 ist die Strom-Intensität kleiner und die Quantität größer als bei der Verbindung Nr. 4; das Umgekehrte findet im Vergleich mit Nr. 2 statt.

Aus dem Früheren (S. 542) her leuchtet ein, daß bei jedem Umlaufe des Inductors ein 6maliger Stromwechsel stattfindet, so daß immer inducirte Ströme entgegengesetzter Richtung einander folgen. Da unter den Wirkungen, die sich mit dem Rotationsapparate hervorbringen lassen, manche, wie z. B. die magnetisirenden, einen Strom von unveränderter Richtung erfordern (weil sonst der durch den einen Strom eben eingeleitete Effekt durch den folgenden entgegengesetzten Strom wieder aufgehoben würde), und die anderen Wirkungen eben so gut durch Ströme einerlei, wie entgegengesetzter Richtung erzeugt werden; so war es nothwendig dafür zu sorgen, daß die einander folgenden entgegengesetzten Ströme in einen ununterbrochenen nach der nämlichen Richtung fortlaufenden umgewandelt werden, was durch den bereits erwähnten, am obern Ende der Rotationsaxe a angebrachten Commutator bewerkstelligt wird, welcher, der Rotationsmaschine zur Seite, auch abgesondert und im vergrößerten Maßstabe anschaulich gemacht ist. Er besteht aus einem Messingrohre r, das an jedem Ende einen Stahlring 3 und 4 aufgelöthet hat. Innerhalb des Rohres r und von demselben durch Holz oder dgl. isolirt, befindet sich ein zweites Messingrohr o, welches beiderseits über r etwas hervorragt und an den Vorsprüngen zwei Reife von gleichem äußeren Durchmesser mit der Röhre r trägt, auf welchen zwei den ersteren Stahlringen 3, 4 ganz gleiche und dieselben nirgends berührende Ringe 1, 2 festgelöthet sind. Beide Messingröhren und die sie trennenden Isolatoren sind mit Siegellack fest an einander gekittet, das ganze System ist auf das obere Ende v der Rotationswelle a aufgesteckt und läßt sich darauf mittelst eines durch beide Messingröhren gehenden Schräubchens in beliebiger Stellung befestigen. Aus jedem der vorbesagten Stahlringe sind 3 Segmente herausgeschnitten, deren jedes $1/_6$ der ganzen Länge des Ringes beträgt, so daß die hiedurch an den Stahlringen entstandenen Vertiefungen (Ausschnitte) mit den belassenen Erhöhungen abwechseln; daß ferner die Vertiefungen und somit auch die Erhöhungen einander an den Ringen 1, 4 und an den Ringen 2, 3 correspondiren, und die Ausschnitte von 1, 4 senkrecht über den Erhöhungen von 2, 3 und umgekehrt angeordnet sind. Auf diese Weise ergänzen sich die Stahlringe 1, 3 zu einem vollständigen Ringe und eben so die Stahlringe 2, 4. Die vorn angeführten zwei Endrähte des Commutators, mit welchen die Enden der Drahtgewinde der Inductionsrollen vereinigt werden, sind der von der äußeren Messingröhre r ausgehende Draht s und der mit der inneren Messingröhre o vereinigte, geplättete Draht oder Streifen t; beide stehen mit dem Innern der Büchse D in entsprechender Verbindung, und es werden daher die im Inductor hervorgerufenen Ströme durch den Draht s der äußeren Röhre r und den Stahlringen 3, 4, durch den Draht t hingegen der inneren Röhre o und ihren Stahlringen 1, 2 zugeleitet. Mittelst der federnden Stahlstreifen f, g, — die in dem Kopfe F der hohlen Messingsäule E so festgeschraubt sind, daß ihre geschlitzten (gabelförmigen) Enden die Erhöhungen der Stahlstreifen 1, 3 und 4, 2 leicht

berühren, und wovon f durch das Metall der Säule **E** selbst mit der Schraubenklemme 2, g hingegen mittelst eines durch die Höhlung der Säule **E** gehenden, mit Seide gut übersponnenen und so von der Säule isolirten Drahtes mit der Schraubenklemme 1 in leitender Verbindung steht, — werden endlich die inducirten Ströme diesen zwei Schraubenklemmen und jedem sie mit einander verbindenden Leiter zugeführt. Bei dieser Einrichtung kömmt von einer Sechstelumdrehung des Inductors zur andern immer abwechselnd die äußere Messingröhre r und die innere o mit jedem gabelförmigen Ende der Stahlfedern f, g in Berührung, und es wird so aus den aufeinander folgenden entgegengesetzten Inductionsströmen ein einziger, auch der Richtung nach gleichartiger Strom, dessen Austrittspunkte die Schraubenklemmen 1, 2 bilden.

Von den Experimenten, die sich mit der beschriebenen Maschine anstellen lassen, sollen hier nur die nachstehenden, wichtigsten angeführt werden. 1. Stellt man den oben unter (†) erwähnten Zeiger o auf die mit Nr. 1 bezeichnete Marke an der Büchse **D**, so erhält man am Commutator stark knallende, sehr glänzende und nach allen Richtungen weithin sprühende Funken, besonders wenn die Federn f und g dort, wo sie den Commutator berühren, mit etwas Oel benetzt wurden. Diese Funken entzünden einen mit Terpentinöl oder Weingeist getränkten Papierspan oder Docht augenblicklich und machen im Finstern nahe Gegenstände deutlich unterscheidbar. 2. Ein zwischen die Schraubenklemme 1, 2 eingeschalteter Platindraht von $^1/_8$ Linie Dicke und 2 Zoll Länge wird zum lebhaftesten Weißglühen gebracht. 3. Ein Hufeisen mit 5'' langen und 0·5'' dicken Schenkeln, welches mit 4 Lagen spiralförmig herumgewickelten und mit Seide übersponnenen Drahtes bedeckt ist, wird durch den Strom der Maschine zu einem Elektromagnet, welcher bei langsamen Rotiren der Maschine 10, bei schnellerem 15—20 Pfunde trägt. Bei der Stellung des Zeigers auf Nr. 2 oder Nr. 3 werden die vorstehenden Wirkungen ebenfalls, jedoch in geringerem Grade erhalten. Weiset der Zeiger auf Nr. 4, so wird in einem Zersetzungsapparate mit Platinelektroden von nahe $^1/_2$□Zoll Oberfläche in $1^1/_2$—2 Minuten 1 Kubikzoll Knallgas erhalten. 5. Die einander hinreichend genäherten Spitzen in den Inductionsstrom gebrachter Stücke von gut ausgeglühter Lindenkohle glühen und verbrennen (selbst unter Wasser) mit einem dem Auge kaum erträglichen und ein Zimmer vollständig erfüllenden Lichte. 6. Die Funken, welche man beim Stande des Zeigers auf Nr. 4 am Commutator erhält, werfen nur wenige Strahlen um sich, haben dafür aber einen solchen Lichtglanz, daß man dabei die feinste Schrift lesen kann. 7. Die Erschütterungen, die verspürt werden, wenn man in jeder Hand einen mit einer der Schraubenklemmen 1, 2 leitend verbundenen Conductor hält, sind schon bei ganz langsamen Rotiren des Inductors und wenn die Magnete durch Verbindung ihrer Pole mittelst an den Seiten angelegter Anker ganz geschwächt sind, äußerst empfindlich und werden, bei schnellerem Rotiren oder allmäligem Abwärtsschieben der Anker gegen die Wölbung der Magnete hin, ganz unerträglich.

Bezüglich der Wirksamkeit magneto-elektrischer Rotationsmaschinen zeigte Weber (Pogg. Ann. B. 61, S. 434), daß die Stärke des Stromes mit der Schnelligkeit des Drehens wachse, jedoch in einem geringeren Verhältnisse. Er sucht die Ursache dieser Nichtproportionalität in der Coercitivkraft des Eisens, die dasselbe verhindert, den durch Induction in ihm erregten Magnetismus sogleich in ganzer Stärke anzunehmen, und aus einer von demselben aufgestellten empirischen Formel für die Stromstärke folgt, daß diese bei einer gewissen Anzahl von Stromwechseln in der Sekunde ihr Maximum erreichen und bei darüber hinaus wachsender Drehgeschwindigkeit wieder abnehmen muß. Lenz fand (Pogg. Ann., B. 76, S. 494) die besagte Nichtproportionalität bestätigt, überzeugte sich aber zugleich, daß der Grund derselben auch in einer Rückwirkung des in den Spiralen inducirten Stromes auf die inducirenden Eisencylinder liegen müsse, und daß der Eintritt des besagten Maximums durch die Stärke des Stromes selbst bedingt sei. Ferner gelangte Lenz zu dem Resultate, daß bei magneto-elektrischen Rotationsmaschinen behufs Erreichung der stärksten Stromkraft der Commutator (welcher die ursprünglich alternirenden Ströme in lauter gleichgerichtete verwandelt), nicht, wie dies ge-

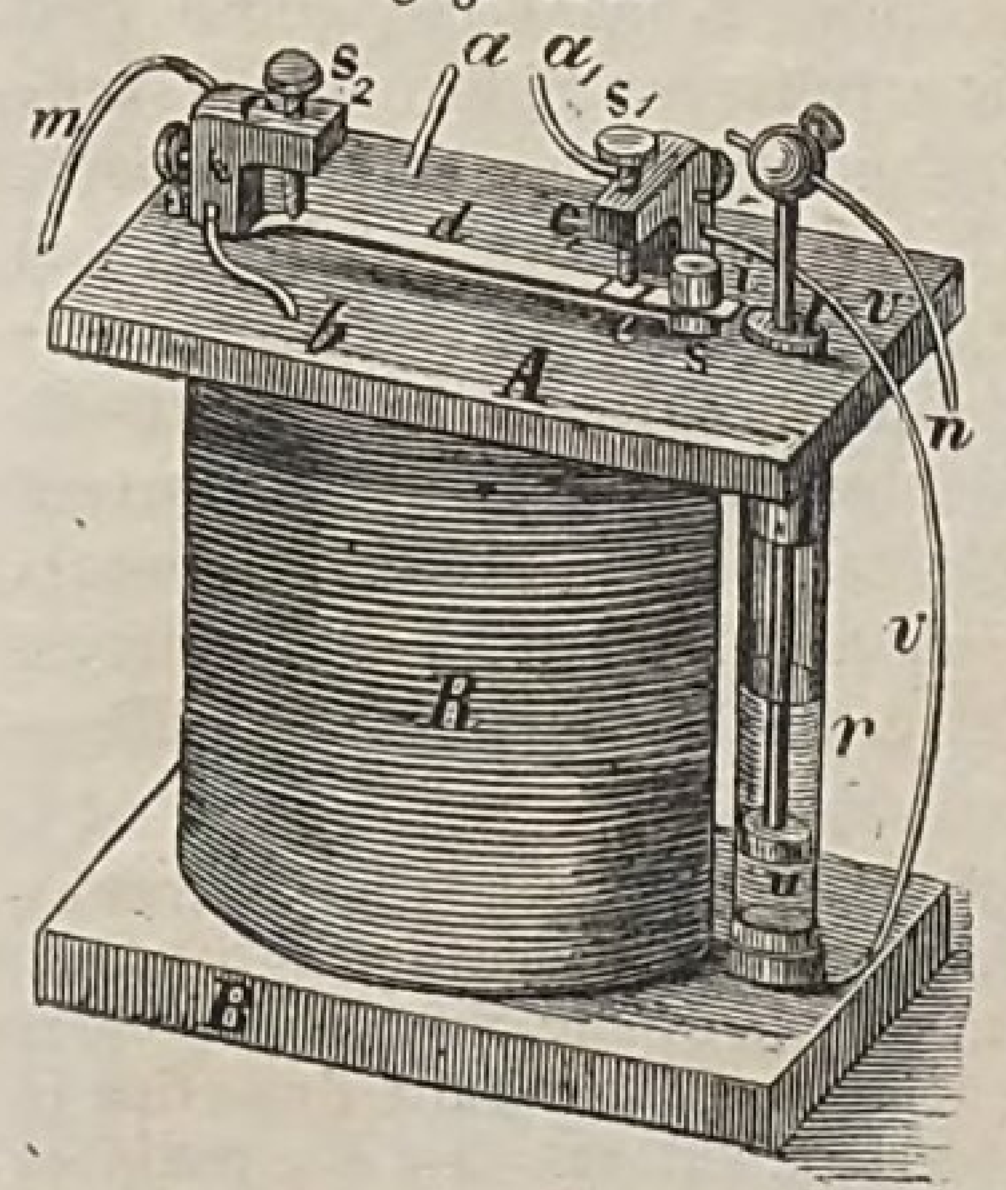
wöhnlich der Fall ist, so gestellt sein darf, daß die Stromumkehrung in dem Augenblicke vor sich geht, wo die inducirten Kerne aus weichem Eisen den Polen der Stahlmagnete gerade gegenüberstehen; er muß vielmehr aus dieser Stellung so verrückt sein, daß die besagte Umkehrung erst etwas später Statt findet, und die Verrückung hat desto mehr zu betragen, je größer die Drehgeschwindigkeit der Maschine ist (bei Geschwindigkeiten von 134—782 Umdrehungen in der Minute betrug die nöthige Verstellung 18—30^0). Koosen bestätigte dieses Resultat und erklärt bezüglich der Erzielung der größtmöglichsten Wirksamkeit der in Rede stehenden Maschinen es für sehr nützlich, bei denselben den Commutator um seine Axe leicht verstellbar einzurichten, damit man demselben immer die für jede Drehgeschwindigkeit passendste Stellung geben kann. (Pogg. Ann. Nr. 11, v. 1852, S. 386.) Nach Sinsteden wird die Wirkung der Maschine mehr als auf's Doppelte erhöht, wenn an derselben doppelt so viele Inductionsrollen als Magnetpole vorhanden und diese so angeordnet sind, daß, während allen Polen Inductionsrollen gegenüberstehen, ebenso viele Inductionsrollen die Pole eben verlassen, so daß der primäre Inductionsstrom der ersteren Rollen mit dem in den andern Rollen entstehenden (durch das Verschwinden des Magnetismus in den Eisenkernen erzeugten) Gegenstrome gleichzeitig Statt hat und die besagten primären und Gegenströme zu einem einzigen Gesammtstrome zusammengesetzt werden, zu welchem Behufe eine solche Anordnung nöthig ist, daß der Anfang, die Dauer und das Ende aller dieser Ströme gleichzeitig sind. (Pogg. Ann., B. 84, S. 181.)

Die erste praktische Anwendung fanden die magneto-elektrischen Rotationsmaschinen in der elektrischen Telegraphie, nämlich als Stromquellen anstatt Volta'scher Batterien. Seit dem Jahre 1847 sind auf der sächsisch-baierischen Staatsbahn von Leipzig nach Hof von Stöhrer für diesen Zweck eigens construirte magneto-elektrische Rotationsmaschinen ununterbrochen im Gebrauche.

Mit ganz entsprechendem Resultate werden magneto-elektrische Maschinen auch als Stromquellen bei der galvanischen Versilberung, Vergoldung u. s. w. verwendet. In London besteht eine Fabrik, wo zu diesem Zwecke mehrere derartige Maschinen durch Dampfkraft in steter Bewegung erhalten werden. Die größte Regelmäßigkeit, Beständigkeit und Sicherheit in der Wirkung ist der Hauptvortheil dieser Maschinen.

Endlich soll hier aus der großen Zahl der bekannt gewordenen verschiedenen Inductionsmaschinen noch der Neeff'sche Magnetelektromotor beschrieben werden, theils weil er bei größter Einfachheit sehr kräftige physiologische Wirkung erzeugt, und theils, weil an demselben die auf S. 483 erwähnte, merkwürdige Thatsache, daß das elektrische Licht immer nur an der — Elektrode entsteht . . . (1) und die + Elektrode ganz lichtlos, aber die Quelle der zwischen den Elektroden auftretenden Wärme sei, entdeckt worden, und immer leicht wieder dargethan werden kann. Die Fig. 489 stellt diesen Apparat im Drittel der natürlichen Größe und in jener verbesserten Gestalt dar, die ihm der Mechaniker Desaga in Heidelberg gegeben hat, und in welcher er für beide oben besagte Anwendungen sich vorzüglich und gleich gut eignet. R ist eine Inductionsrolle, bestehend aus einem vertikalen, oval gedrückten, der ganzen Höhe nach aufgeschlitzten Cylinder von Eisenblech, um welchen 800 bis 1000 Windungen eines ³/₄ Millimeter dicken, mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes herumgewickelt sind, und in dessen Höhlung 200—300 gleichlange, gefirnißte, weiche Eisendrähte von 1 Millimeter Dicke stehen. Das Ganze ist zwischen 2 Bretchen A, B eingeschlossen, die durch Schrauben mit dem Eisencylinder vereinigt sind, und die obern Enden der Eisendrähte berühren einen eisernen Anker, der einerseits in einen durch das Bretchen A emporragenden Schraubenkopf (Amboß) s endigt. Das eine (a) der durch das Bretchen A hindurchgeführten Enden a, b des Drahtgewindes von R wird unmittelbar mit dem einen Pole einer einfachen Kette vereinigt, und das andere (b) ist in dem Metallbügel c

Fig. 489.



festgeschraubt. de ist ein federnder Kupferstreifen, der an dem einen Ende vom Bügel c festgehalten wird, am andern Ende einen kleinen Cylinder i (Hammer) aus weichem Eisen und bei e ein aufgelöthetes Platinplättchen trägt, welches an eine am untern Ende der Schraube s_1 vorhandene Platinspitze drückt, während der Hammer i sehr nahe über dem Amboß s schwebt, ohne ihn jedoch zu berühren. Die Schrauben s_1 und s_2 dienen, um dem Hammer und dem Platinplättchen immer genau die besagte erforderliche Stellung gegen den Amboß und die Platinspitze geben zu können. r ist ein oben und unten mit einem Korke geschlossenes und mit Wasser oder verdünnter Schwefelsäure gefülltes Glasröhrchen. Durch den obern Kork geht, darin

verschiebbar, ein dicker Draht tu, der am inneren Ende t ein Platinscheibchen trägt, und auf dem untern Kork sitzt ebenfalls ein Platinscheibchen auf, woran ein Draht v gelöthet ist, der durch den Kork geht und mit dem zweiten Ende in dem Metallbügel c_1 eingespannt ist, welcher noch einen zweiten Draht a_1 festgeklemmt enthält. Verbindet man a und a_1 mit den Polen der oben besagten einfachen Kette, z. B. a mit dem + Pole, so geht der bei a eintretende Strom nach Durchlaufung der Drahtwindungen auf R durch den Draht b in den Bügel c, gelangt aus diesem durch die Feder de und die mit dem Platinplättchen e in Berührung stehende Platinspitze an der Schraube s_1 in den Bügel c_2 und von da durch den Draht a_1 zum — Pol der Volta'schen Kette. Dadurch werden die Eisendrähte in der Inductionsrolle und also auch der Amboß s magnetisch. Dieser zieht demnach den Hammer i an, dabei geht der Kupferstreifen de nieder, es kommen das Platinplättchen e dieses Streifens und die Platinspitze an der Schraube s_1 außer Berührung und der Stromkreis wird unterbrochen...(†). Hierdurch entsteht ein Gegenstrom, welcher, da er (5. Ges. S. 538) die Richtung des primären Stromes hat, von c aus durch den menschlichen Körper, oder einen andern Leiter geht, der zwischen den Drähten m, n in passender Weise eingeschaltet sich befindet, wovon der eine im Bügel c und der andere am obern Ende des an der Glasröhre r verschiebbaren Drahtes v festgeklemmt ist. Da dieser Gegenstrom seinen Weg von c durch m, den eingeschalteten Leiter, nach n, durch den Draht tu, die die Platinscheibchen in r trennende Flüssigkeitssäule, den Draht v nach c_1 und endlich nach a_1 nimmt; so wird er offenbar desto mehr geschwächt, je länger man durch Verschieben des Drahtes tu in r die besagte, die Platinscheibchen trennende Flüssigkeitssäule gemacht hat. Demnach kann man mittelst der aus dem Glasröhrchen r und seinem Inhalte bestehenden Vorrichtung die Wirkung des Gegenstromes beliebig moderiren und es heißt deswegen auch diese Vorrichtung der Moderator. Wenn durch das Niedergehen des Kupferstreifens de der primäre Strom unterbrochen wird (†), so hört der Amboß s auf, magnetisch zu sein, der Hammer wird nicht mehr angezogen, der Kupferstreifen schnellt durch seine Federkraft wieder in die Höhe, es kommt das Platinplättchen e mit der Platinspitze an s_1 abermals in Berührung, der Strom ist wieder hergestellt, es wird also auch der Hammer vom Amboß wieder angezogen, der Kupferstreifen de neuerdings niederbewegt und der Strom unterbrochen u. s. f. Dadurch geräth de in eine auf und ab gehende Bewegung (Vibrirung). Diese geht so schnell vor sich, daß man sie kaum sehen kann und bewirkt eine eben so schnelle Nacheinanderfolge von Unterbrechungen des primären Stromes, und von nach einerlei Richtung gehenden Gegenströmen, somit gemäß **219** auf S. 441, ebenso Verstärkung der Gegenstrom-Wirkung, wie bei Anwendung eines Blitzrades.

Die Wirkung des Apparates auf den menschlichen Körper ist überaus kräftig, so daß sich die Erschütterungen und Schläge durch eine Reihe von mehreren Personen fortpflanzen, wenn diese sich mit benetzten Händen anfassen. Verbindet man die Drähte m, n mit zwei in Wasser tauchenden und darin von einander abstehenden Metallplatten, so daß die Gegenströme eine Wasserstrecke durchziehen müssen, und taucht die Hand oder einen andern Körpertheil in diese, so ist die Wirkung der eindringenden Elektrizität eine sehr empfindliche und kann sich bis zum Unerträglichen steigern.

Um mit dem Magnetelektromotor die oben unter (1) erwähnte Neeff'sche Entdeckung zu constatiren, betrachte man während der Vibration des Hammers, wo zwischen diesem und der Platinspitze bei jeder Oeffnung der Kette ein Funke sichtbar ist, dieses wegen der schnellen Nacheinanderfolge der Kette-Oeffnungen scheinbar stätige Lichtphänomen mit einer etwa 5 Mal vergrößernden Lupe. Man wird, wenn der Strom vom Platinplättchen e zur Platinspitze an s_1 geht, nur diese Spitze, und wenn der Strom die umgekehrte Richtung (von der Platinspitze zum Plättchen e) hat, nur allein dieses Plättchen umleuchtet sehen. Bei Anwendung kräftigerer Ketten tritt das Lichtphänomen verstärkt hervor; doch darf der erregende primäre Strom nie so kräftig sein, daß dieser ein Glühen der Platinspitze bewirkt, weil man es dann nicht mehr mit dem primären, von der Elektrizität allein abhängigen Lichte, sondern auch gleichzeitig mit dem von diesem wesentlich verschiedenen Lichte des Glühens und Verbrennens zu thun hat und beide Lichtarten sich so vermischen, daß sie von einander nicht unterschieden werden können. Das Weitere über die eben besprochene Neeff'sche Entdeckung findet man in Pogg. Ann. B. 66, S. 414.

251. Weitere Beleuchtung der Wirkungen inducirter Ströme. Jeder primäre Strom wird im Augenblicke seines Entstehens durch den von ihm in dem Leiter, den er durchzieht, inducirten, entgegengesetzten Extrastrom (S. 538) geschwächt; während seines Verschwindens beim Oeffnen der Kette hingegen wird er durch den im besagten Leiter hervorgerufenen, mit ihm nach der nämlichen Richtung gehenden Extrastrom verstärkt. Darum ist der Schlag und der Funke, den man beim Schließen einer Volta'schen Kette mittelst eines langen Drahtes er-

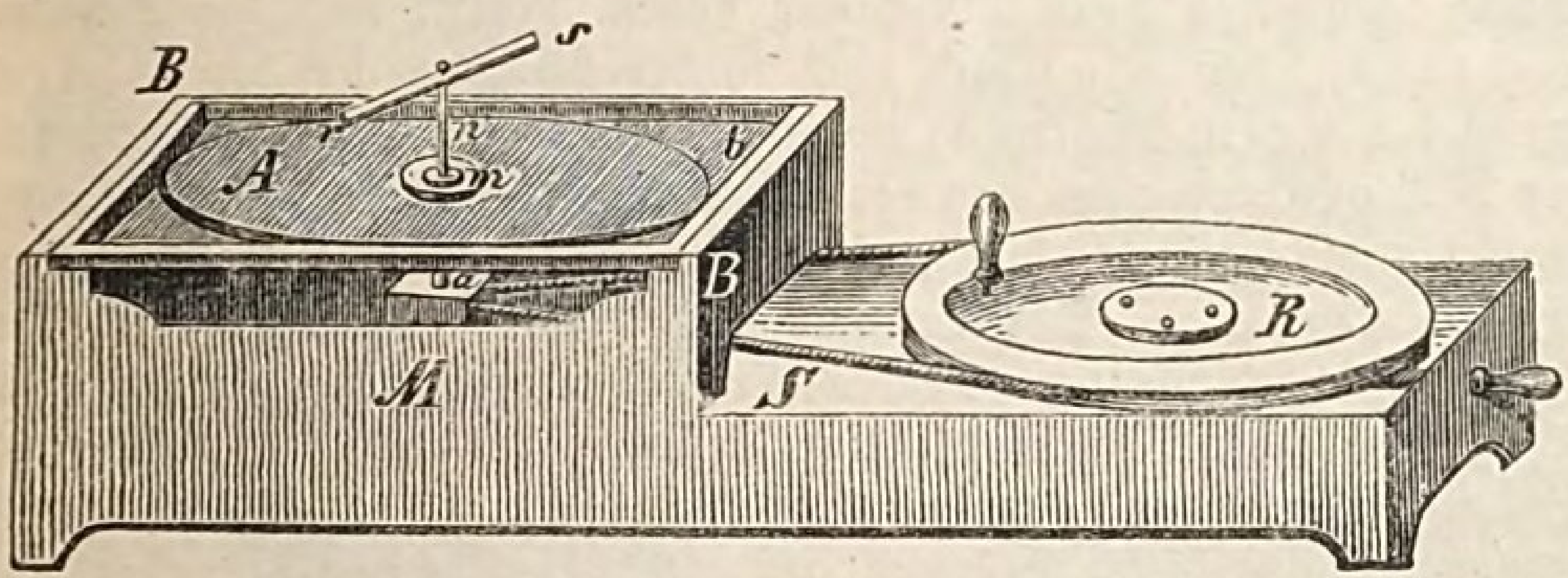
hält, immer schwächer, als Schlag und Funke, die unter gleichen Umständen beim Oeffnen der Kette entstehen. Wegen der Induction, welche die Windungen einer Drahtspirale gegenseitig auf einander üben, ist der besagte Funke und Schlag weit kräftiger, wenn der als Schließungsleiter angewendete lange Draht zu einer Spirale (auf eine Rolle) gewunden, als wenn er geradlinig belassen ist, und ein in die Spirale eingesetzter Kern aus weichem Eisen (am besten ein Bündel überfirnißter und dadurch von einander isolirter Eisendrähte) muß die in Rede stehenden Effekte noch mehr erhöhen, weil dann die inducirten Ströme, die beim Oeffnen der Kette durch das Verschwinden des Magnetismus im Eisenkern und des primären Stromes im Drahte in diesem letzteren hervorgerufen werden, unter einander und mit dem primären Strome übereinstimmend wirken. Deswegen lassen sich (wie dies bei dem im Vorhergehenden beschriebenen Neeff'schen Magnetelektromotor der Fall ist, mit einer, gehörig viele Windungen und einen Eisenkern enthaltenden Inductionsrolle, wenn damit ein Stromunterbrecher vereinigt, dadurch ein schnell und oftmals nacheinander folgendes Oeffnen und Wiederschließen der Kette bewerkstelligt und so eine große Reihe durch Induction verstärkter Ströme hervorgebracht wird) durch eine einfache und schwache Volta'sche Kette eben so starke Erschütterungen hervorbringen, wie sonst nur durch aus sehr vielen Elementen zusammengesetzte, kräftige Ketten erzielt werden können. In der schwächenden Gegenwirkung, welche bei den S. 494 besprochenen elektromagnetischen Motoren des früheren Systems der sie in Bewegung setzende primäre Strom durch die Neben- und Extraströme erfährt, die beim abwechselnden plötzlichen Entstehen und Verschwinden des Magnetismus in den Spiralen und Eisenkernen erzeugt werden, ist auch zum Theil der Grund des geringen Nutzeffektes dieser Motoren zu suchen. Diese Extraströme sind auch die Ursache, warum bei den besagten Motoren der primäre Strom mit der Geschwindigkeit derselben in sehr starkem Verhältnisse abnimmt. Da die in Rede stehenden Extraströme das Eigenthümliche haben, daß ihre durch die Einheit des primären Stromes hervorgebrachte Stärke dem zu den Spiralen (bei den nämlichen Eisenkernen) verwendeten absoluten Gewichte des Kupferdrahtes proportional, übrigens von den relativen Dimensionen dieses Drahtes unabhängig ist; so erklärt sich auch, warum große elektromagnetische Motoren (welche natürlich ein großes Gewicht Kupferdraht enthalten) eine verhältnißmäßig viel geringere mechanische Wirkung geben. (Koosen in Pogg. Ann. 1852 Nr. 2, S. 226). Wegen der Extraströme erreicht der Strom in den Drahtspiralen nicht gleich im Momente des Schließens der Kette seine volle Kraft, verschwindet auch beim Oeffnen der Kette nicht momentan, sondern es findet ein gradweises Steigen und Fallen desselben Statt und die Zeit (nach Page $^1/_6$—$^1/_5$ Sekunde), welche hindurch das Steigen und Fallen dauert, ist bedeutend länger ($^1/_2$—$^3/_4$ Sekunde), wenn die Spirale einen Eisenkern einschließt. Diese Zeit ist offenbar ein wichtiges, bei allen elektro-mechanischen Apparaten wohl in Betracht zu ziehendes Element. Wo Magnete in einer Drahtspirale in und außer Wirksamkeit gesetzt werden, ist die zu beiden nöthige Zeit und überdies der inductive Effekt in Folge der Bewegung gehörig zu berücksichtigen. Wo hingegen der Magnet stets wirksam bleibt, wie bei den Maschinen von Page (S. 496), kömmt nur die Zeit für die Spiralen allein nebst dem induktiven Bewegungseffekt in Betracht. Page beseitigte bei seinen Motoren selbst den Einfluß der für die Spiralen erforderlichen Zeit und daher auch die weit größere Kraft dieser Maschinen im Vergleiche mit andern.

252. Induktion durch Magnetismus in bewegten Metallscheiben. Arago machte im Jahre 1825 die Entdeckung, daß die horizontalen Schwingungen einer Magnetnadel, wenn sie über einer nahe darunter angebrachten Kupferscheibe vor sich gehen, ohne an Dauer zu verlieren, eine geringere Amplitude haben, als wenn diese Scheibe nicht vorhanden ist, und daß eine ru-

hende, aber leicht bewegliche Magnetnadel durch eine unter ihr rotirende horizontale Kupferscheibe nach der nämlichen Richtung mit dieser in Rotation versetzt werde. Wie das Kupfer nur dem Grade nach verschieden, wirken auch die andern Metalle; Eisen übertrifft hierin alle.

Sehr gut und leicht läßt sich die besagte Rotation der Magnetnadel mittelst des in Fig. 490 abgebildeten Apparates darstellen. **A** ist die betreffende Metallscheibe, die mittelst einer im Centrum der untern Fläche angeschraubten Hülse auf die vertikale Axe **a** aufgesteckt ist und darauf durch Reibung festsitzt. Nahe

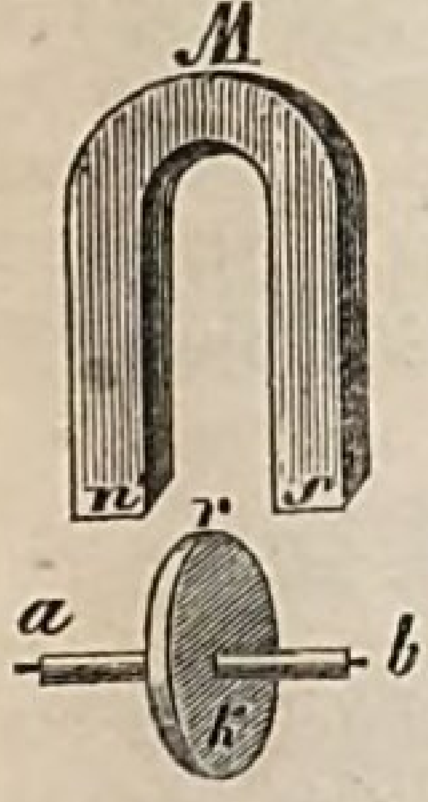
Fig. 490.



über der Scheibe befindet sich eine horizontale Glastafel **b**, die in dem rechteckigen Holzrahmen **B** eingeschnitten ist, welcher am Obertheil des übrigen hölzernen Maschinengestelles **M** in Falzen ruht. Auf der Glastafel und zwar gerade über dem Mittelpunkte der Metallscheibe **A** ist eine in dem Messingscheibchen **m** steckende Spitze **n** aufgestellt, auf welcher eine Magnetnadel **rs** sehr leicht beweglich schwebt. Wird nun mittelst des Rades **R** und der dieses Rad und eine an der Vertikalaxe **a** vorhandene Rolle umfangenden Schnur **S** die Metallscheibe **A** in schnelle Rotation versetzt, so sieht man auch bald die Magnetnadel **rs** dieser Rotation folgen. Daß letzteres nicht durch die über der rotirenden Scheibe nothwendig entstehende Luftbewegung bewirkt werde, dafür bürgt die zwischen Scheibe und Magnetnadel angebrachte Glastafel **b** und der Umstand, daß unmagnetische Nadeln, anstatt der Magnetnadel angewendet, von der rotirenden Scheibe nicht afficirt werden und diese Scheibe unter sonst ganz gleichen Umständen, je nach ihrer materiellen Verschiedenheit die gedachte Wirkung auf die Magnetnadel in verschiedenem Grade äußert.

Die Erklärung der in Rede stehenden Erscheinungen ist im Allgemeinen folgende. Die Magnetnadel inducirt in der ihr nahen Metallscheibe (in den Parthien derselben, denen sie, während ihres Schwingens oder indem die Scheibe rotirt, genähert und von welchen sie entfernt wird) elektrische Ströme, diese wirken auf die Nadel (auf die nach Ampère's in **243** mitgetheilten Hypothese in der Nadel selbst vorhandenen Ströme) zurück und erzeugen hierdurch die angegebenen Wirkungen. Daß eine solche Induction wirklich statt findet, beweist folgender Versuch Faraday's. Bringt man eine um eine horizontale Axe **ab** (Fig. 491) bewegliche Kupferscheibe **k** so zwischen die Pole **n**, **s** eines Hufeisenmagnetes **M**, daß ihr Rand **r** in die Ebene der beiden Pole oder nicht weit unter- (wie in der Figur) oder oberhalb dieser Ebene sich befindet, setzt ferner mit dem wohl amalgamirten Rande **r** der Scheibe einen metallenen Collector in Berührung, der mit dem einen Drahtende eines empfindlichen Multiplikators vereinigt ist, während das zweite Multiplikator-Drahtende mit der metallenen Scheibenaxe **ab** in leitender Verbindung steht, und macht dann die Scheibe **k** schnell rotiren; so erfährt die Multiplikatornadel eine bleibende Ablenkung, deren Richtung von jener der Rotation abhängt, so daß bei Umkehrung dieser letzteren auch die Multiplikatornadel in entgegengesetztem Sinne abgelenkt wird.

Fig. 491.



Um nun von der Richtung der in der Scheibe inducirten Ströme und von deren Rückwirkung auf die Magnetnadel eine genauere Vorstellung zu erlangen, sollen n, s in Fig. 492 die Flächen der Pole des Hufeisenmagnetes (in größerem Maßstabe) bedeuten und die eingezeichneten Pfeile die Richtung der Ströme anzeigen, welche nach der Ampère'schen Theorie die beiden Magnetpole bilden, und, wie die Pfeile 1, 2 zeigen, an den der rotirenden Scheibe zugekehrten Polseiten einerlei Richtung haben. Rotirt nun die Scheibe so, daß ihr Rand auch in der Richtung der Pfeile 1, 2 (also in der Richtung des großen Pfeiles 3) zwischen den Magnetpolen sich hinbewegt, so zeigt der Multiplikator einen von der Mitte der Scheibe zu ihrem Rande und bei entgegengesetzter Rotationsrichtung einen vom Rande der Scheibe gegen ihre Mitte hin gehenden Strom an. Offenbar muß auch, wenn kein die Axe und den Rand der Scheibe leitend verbindender (Multiplikator-) Draht vorhanden ist, in der rotirenden Scheibe durch die Magnetpole eine Störung des elektrischen Gleichgewichtes (eine Induction) und da die zusammenhängende Masse der Scheibe selbst immer die Wiederausgleichung dieser Störung gestattet, die Hervorrufung sekundärer elektrischer Ströme bewirkt werden. Es werden daher auch in der zwischen den Magnetpolen frei rotirenden Scheibe inducirte Ströme auftreten und zwar haben diese Ströme in dem Falle, wo das Rotiren im Sinne des Pfeiles 3 vor sich geht, die in Fig. 493 durch kleine Pfeile angedeutete, im Falle des umgekehrten Rotirens aber die entgegengesetzte Richtung. Wirkte auf die Scheibe anstatt der beiden Magnetpole blos einer derselben, so würde die Wirkung von der vorigen offenbar nur der Intensität nach verschieden sein. Eben so leuchtet ein, daß in dem Falle, wo über der rotirenden Scheibe eine Magnetnadel (ns Fig. 494) schwebt und der Nordpol n derselben von der Mitte gegen den Rand der Scheibe gehende Ströme inducirt, die durch den Südpol s erregten Ströme die umgekehrte Richtung (vom Rande gegen die Mitte der Scheibe) haben müssen; daß diese Ströme zusammen wie ein einziger Strom wirken werden, der unter der Nadel von ihrem Südpole zum Nordpol hingeht und daß daher, der Ampère'schen Regel (S. 444) zu Folge, die Nadel nach der Richtung abgelenkt werden müsse, nach welcher die Scheibe rotirt. Das unausgesetzte Fortdauern dieser ablenkenden Wirkung, so lange die Scheibe rotirt, hat natürlich bald das Rotiren der Magnetnadel selbst zur Folge. Die im Eingange dieses Absatzes angeführte Verminderung der Amplituden über einer Kupfer- oder andern Metallscheibe horizontal schwingender Magnetnadeln erklärt sich einfach, wenn man erwägt, daß die Wirkung und Rückwirkung zwischen Nadel und Scheibe ganz die nämliche sein müsse, ob erstere sich dreht und letztere ruht oder ob erstere in Ruhe ist und letztere in mit der vorigen Bewegungsrichtung entgegengesetztem Sinne gedreht wird.

Fig. 492.

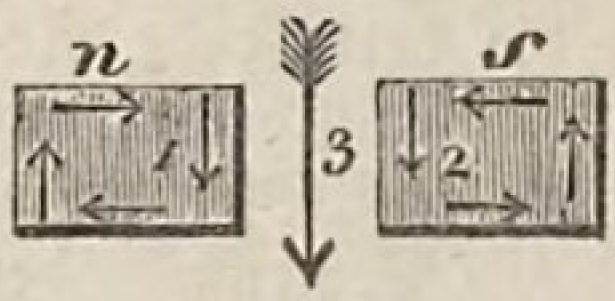


Fig. 493.

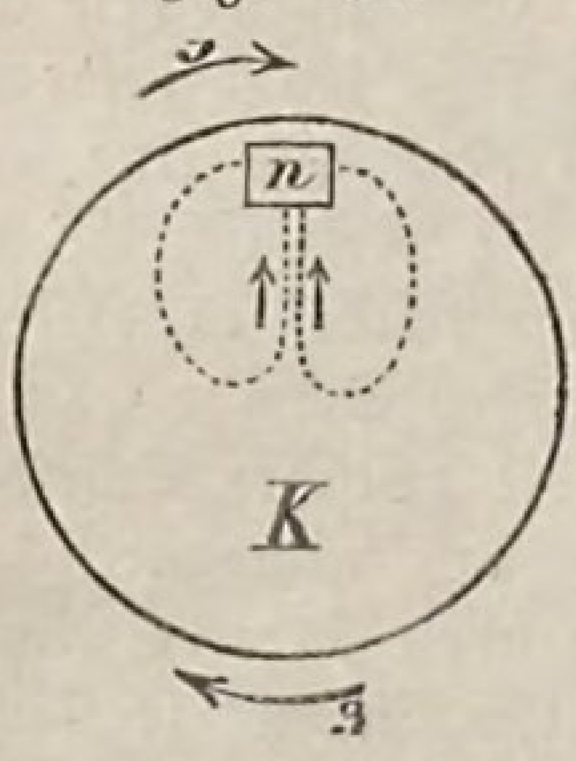
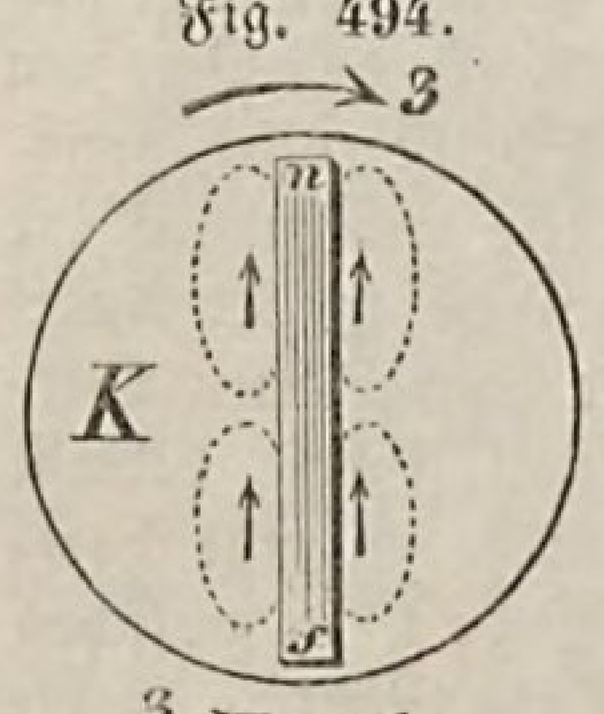


Fig. 494.

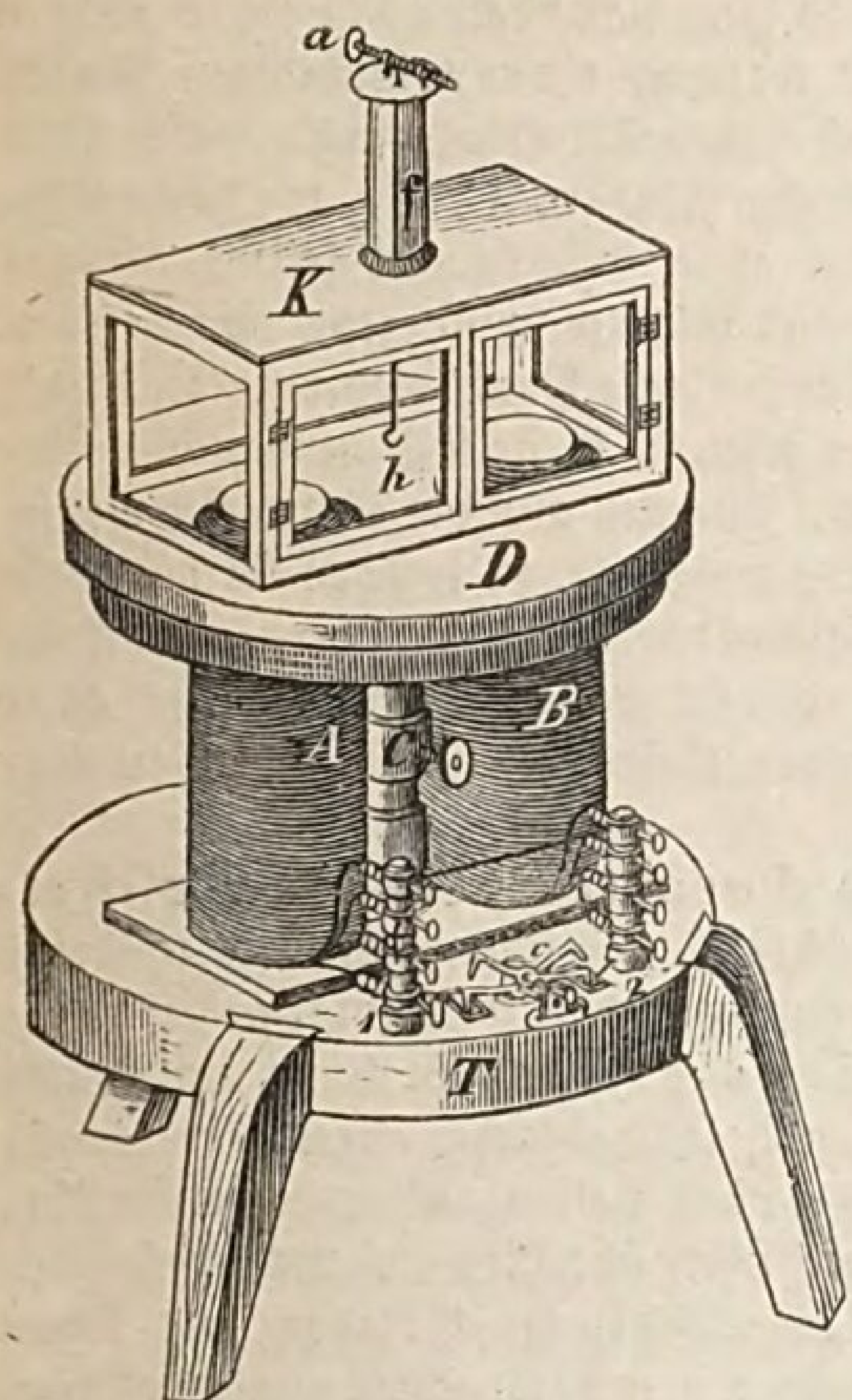


Diamagnetismus.

An die im Vorhergehenden besprochenen Inductionsphänomene soll sich nun die am Schlusse des Absatzes **182** als später nachfolgend angekündigte nähere Betrachtung der diamagnetischen Erscheinungen und der besten Mittel, sie hervorzubringen, so wie eine theoretische Würdigung derselben anschließen, da wir jetzt die zum gehörigen Verständniß Alles dessen nöthigen Vorkenntnisse besitzen, und dem Diamagnetismus höchst wahrscheinlich auch Induction zu Grunde liegt.

253. Der beste Apparat zur Darstellung der diamagnetischen Erscheinungen (deren Wesen schon in **182**, aber nur im Allgemeinen angegeben wurde) und zur Ermittlung, ob eine Substanz in die Klasse der magnetischen oder in jene der diamagnetischen Körper gehöre u. s. w., ist der in Fig. 495 abgebildete Plücker'sche Apparat. Den Haupttheil desselben macht ein vertikalstehender hufeisenförmiger Elektromagnet **AB** aus. Der gebogene Theil seines cylindrischen Eisenkernes ist in die Platte **T** aus hartem Holze eingelassen und daher nicht sichtbar; seine zwei die Pole bildenden Schenkel erheben sich 0·465 Meter über die Platte **T**, ihre Axen stehen 0·284 Met. von einander ab und jeder ist mit 8 Lagen (die Lage zu 90 Windungen) Kupferdrahtes von 4·36 Millimeter Durchmesser umwickelt. Vier Lagen sind immer aus einem ununterbrochen fortlaufenden Drahte, folglich alle 8 Lagen aus 2 Drähten gebildet und die 4 Enden dieser 2 Drähte sind durch Druckschrauben mit den metallenen Theilen der Säulen 1, 2 vereinigt, welche aus abwechselnden Stücken von Holz und Messing bestehen. Die obersten Metalltheile beider Säulen lassen sich mittelst eines Drahtes vereinigen, und die untersten communiciren mit Quecksilbernäpfen, in welche die Spitzen des Commutators c tauchen. Die Säulen machen es möglich, nach Belieben einen Elektromagnet mit Draht von großem oder von kleinem Querschnitte herzustellen und der Commutator gestattet eine schnelle Umkehrung der Stromrichtung.

Fig. 495.



Auf der von den Enden der Magnetschenkel getragenen Platte **D** steht ein Kasten mit Glaswänden und mit derlei Thüren, der zur Bildung einer Drehwage oder zur Aufnahme einer andern, sehr empfindlichen Wage u. s. w. bestimmt ist. Die in magnetischer oder diamagnetischer Beziehung zu untersuchenden Substanzen werden zwischen die Pole des Elektromagnetes entweder durch Aufhängen an einem aus mehreren parallelen Coconfäden gebildeten Strange oder an einem feinen Drahte f mit dem Häkchen h oder mittelst eines Trägers gebracht, der zwischen den Schenkeln des Elektromagnetes vorhanden ist und sich durch eine Druckschraube an seinem aus einander ziehbaren Fuße **C** in den gehörigen Höhen feststellen läßt. Um den besagten Polen selbst die den verschiedenen Versuchen entsprechende Richtung und Gestalt geben zu können, lassen sich auf die ebenen und horizontalen obern Endflächen des Hufeisens passend gestaltete Stücke aus weichem Eisen aufsetzen, als da sind: 1. Zwei Kegel, bei deren jedem die Basis der Endfläche einer der horizontalen Endflächen des Hufeisens gleich ist und die Höhe 0·025 Meter beträgt; 2. zwei 0·048 Meter hohe und dem Durchmesser nach den Hufeisenschenkeln gleiche Cylinder, wovon jeder in der Mitte seiner Höhe eine horizontale Durchbohrung von 0·02 Met. Durchmesser enthält, in welcher sich ein dünnerer Eisencylinder verschieben und (etwa mittelst einer messingenen, an der Seite in den Cylinder hineingehenden Druckschraube) feststellen läßt, der 0·130 Met. lang, an dem einen Ende zugespitzt, an dem andern abgerundet und daselbst an einer Seite bis an seine Axe so ausgehöhlt ist, daß, wenn die zwei mit diesen Höhlungen versehenen Enden der dünneren Cylinder einander zugekehrt und, ohne daß sie zur Berührung kommen, hinreichend nahe gebracht

sind, ein Taschenuhrglas in die nach aufwärts gewendeten Höhlungen der Art eingesetzt werden kann, daß es eine horizontale Schale zur Aufnahme von Flüssigkeiten bildet... (1). (In der späteren Fig. 496 sind C, C_1 die durchbohrten, und c, c_1 die darin verschiebbaren dünneren Cylinder und d ist die Druckschraube.) 3. Zwei gleiche parallelepipedische Stücke (Halbanker) aus weichem Eisen, welche eine dem Durchmesser der Hufeisenschenkel gleiche Breite, und etwa 0·048 Met. Höhe haben, einerseits abgerundet, der Länge nach durchbohrt und so lang sind, daß wenn sie, eines in der Verlängerung des andern, an einander gepaßt werden, einen vollständigen Anker für das Hufeisen abgeben können... (2). Lassen sich in den Durchbohrungen dieser Parallelepipede ganz so, wie in den oben besagten Eisencylindern C, C_1, die dünneren, an dem einen Ende konisch gestalteten, am andern abgerundeten und seitlich ausgehöhlten Cylinder aus weichem Eisen verschieben und mittelst messingener Schrauben feststellen (man sehe die spätere Fig. 498); so können diese Parallelepipede auch die eben wieder erwähnten durchbohrten Eisencylinder ersetzen, ja sie sind in mancher Beziehung sogar noch zweckdienlicher als diese... (3). Werden auf die obern Hufeisenenden die Cylinder C, C_1 oder die Parallelepipede aufgesetzt, so werden sie mit dem Hufeisen magnetisch und die Enden der in denselben horizontal verschieb- und feststellbaren Eisencylinder bilden die Magnetpole, die sich daher einander mehr oder weniger nähern lassen und im Folgenden immer gemeint sind, wenn nur kurz von horizontalen Polen die Rede sein wird... (4).

254. Die den Diamagnetismus charakterisirenden Erscheinungen. Diamagnetische Substanzen nehmen (**182**) zwischen den beiden Polen eines hinreichend kräftigen Magnetes (oder überhaupt zwischen zwei entgegengesetzten, hinreichend starken Magnetpolen) immer eine äquatoriale Stellung an, und werden, auch nur unter den Einfluß eines einzigen Poles gebracht, abgestoßen, während magnetische Stoffe im ersteren Falle sich stets axial stellen und in letzterem Anziehung erfahren. Viele diamagnetische Substanzen üben überdies auf Licht besonderer Beschaffenheit (auf polarisirtes Licht) eine eigene Wirkung, die aber, wie schon in **182** gesagt wurde, erst in der Lehre vom Licht näher besprochen werden kann.

Da, nach Plücker, die im Verhältnisse zur magnetischen Anziehungskraft ohnedies sehr kleine diamagnetische Abstoßungskraft mit der Entfernung von den Magnetpolen weit langsamer abnimmt als letztere, so kann ein Körper, der zugleich diamagnetische und magnetische Bestandtheile enthält, Magnetpolen gegenüber sich einmal magnetisch, das andere Mal diamagnetisch zeigen (von diesen Polen angezogen oder abgestoßen werden und zwischen denselben sich bald äquitorial, bald axial stellen); es wird nämlich, wenn die Zahl der magnetischen Bestandtheile gegen jene der diamagnetischen klein ist, in der Nähe der Pole die diamagnetische, in größerer Entfernung von den Polen aber die magnetische Wirkung als überwiegend hervortreten. Es kann aber bei dem besagten Quantitätsverhältnisse zwischen den diamagnetischen und magnetischen Bestandtheilen einer Substanz ein Uebergewicht der diamagnetischen Wirkung über die magnetische auch durch Verstärkung des Magnetes bewerkstelligt werden, indem dadurch der in dem betreffenden Stoffe erregbare Diamagnetismus noch gesteigert wird, wenn der Magnetismus, dessen dieser Stoff fähig ist, bereits sein Maximum erreicht hat. Nach Plücker's Ansicht wächst nämlich bei zunehmender Stärke der Magnetpole der Diamagnetismus nach einem andern Gesetze als der Magnetismus der magnetischen Bestandtheile des Gemisches, weil die Coercitivkraft, die bei Magnetisirung der einen und bei Diamagnetisirung der andern Bestandtheile überwunden werden muß, verschieden ist.

255. Diamagnetismus und Magnetismus fester Körper. Die in Bezug auf diamagnetisches oder magnetisches Verhalten dem Versuche zu unterwerfenden festen Körper werden unmittelbar an dem (mehrfachen) Coconfaden f (Fig. 495) aufgehangen, oder, wenn sie stangenförmig sind, in einem am Häkchen h dieses Fadens hängenden papierenen Schiffchen (nach Art des Schiffchens in der Fig. 348 S. 366) liegend, zwischen die horizontalen Pole des Elektromagneten gebracht. Auf diesem Wege wurden diamagnetisch gefunden: unter den Metallen am stärksten Wismuth, dann in nach der Reihe, in der hier die Aufzählung geschieht, abnehmendem Grade: Antimon, Zink, Zinn, Kadmium, Blei, Silber,

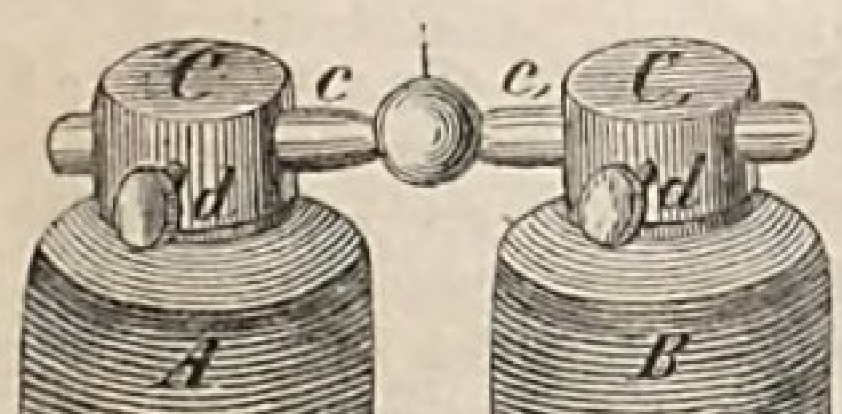
Kupfer, Gold, Arsen, Uran, Rhodium, Iridium, Wolfram. Außerdem zeigen unter den festen Stoffen sich deutlich diamagnetisch: Glas (Crownglas, Flintglas und vorzüglich kieselborsaures oder schweres Glas), Jod, Phosphor, Schwefel, Kautschuk, Elfenbein, Leder, Brod, Rindfleisch, Holz, Eis u. s. w. Alle genannten Körper in Stangen von mindestens 2 Zoll Länge, etwa $\frac{1}{4}$—$\frac{1}{2}$ Zoll Breite und 0·2 Zoll Dicke angewendet, stellen sich entschieden äquitorial. Axial stellen sich und sind daher magnetisch: 1. unter den Metallen: nebst Eisen, auch Nickel, Kobalt, Chrom, Mangan, Cerium, Platin, Palladium, Titan, Osmium; 2. von andern festen Substanzen: gewisse Sorten Papiers, Holzkohlen, Siegellack, Schellack, Graphit, Porzellan (Berliner), grünes Bouteillenglas (wegen seines Eisengehaltes), Tusch, Asbest u. s. w.

Sehr interessant ist die Entdeckung Plücker's, daß die meisten durchsichtigen Krystalle zwischen den Polen des Elektromagnetes eine bestimmte Richtung annehmen, und seine Untersuchungen hierüber führten zu folgendem Gesetze: Wenn man einen beliebigen Krystall mit einer optischen Axe zwischen die besagten Pole bringt, so wird diese Axe von jedem der beiden Pole abgestoßen; hat der Krystall zwei optische Axen, so erfährt jede derselben von jedem Pole eine gleich starke Abstoßung. Die Kraft, welche diese Abstoßung bewirkt, ist unabhängig von der magnetischen oder diamagnetischen Beschaffenheit der Substanz des Krystalles und nimmt mit der Entfernung von den Magnetpolen langsamer ab als die von diesen Polen aus auf die Krystallsubstanz wirkenden magnetischen oder diamagnetischen Kräfte. Später glaubte Plücker bezüglich der Stellung krystallisirter Körper zwischen den Magnetpolen allgemein den Satz aufstellen zu können, daß die optische Axe bei negativen Krystallen abgestoßen, bei positiven hingegen angezogen werde, und daß bei optisch zweiaxigen Krystallen diese Anziehung oder Abstoßung sich auf beide Axen erstrecke. Dieser Satz ist nach Knoblauch's und Tyndall's Untersuchungen aber noch nicht allgemein stichhältig. Der Begriff eines negativen und positiven Krystalls kann erst in der Optik gegeben werden und man findet das hierauf Bezügliche bei der doppelten Brechung des Lichtes.

Eine Turmalinplatte stellt sich mit ihrer optischen Axe axial oder äquatorial, jenachdem sie in ihrer mit der Axe zusammenfallenden Längenrichtung und in der Breitenrichtung oder in der Richtung ihrer Dicke am Coconfaden aufgehängt wird; ein Turmalinkrystall stellt sich zwischen den ihm sehr nahen Spitzen der horizontalen Pole [(4) S. 552] axial, bei größerer Entfernung der letzteren, oder wenn er über dieselben gehoben oder unter sie gesenkt wird, hingegen äquatorial. Aequatorial stellen sich ferner: ein von natürlichen Spaltungsflächen begrenzter Doppelspath, wenn er so aufgehängt ist, daß seine Axe horizontal schwingen kann; Doppelspath-Platten, senkrecht auf die Axe geschnitten (ein undurchsichtiger Kalkspathkrystall verhält sich magnetisch), und wie helle Doppelspath-Platten verhalten sich auch senkrecht gegen die Axe geschnittene Bergkrystallplatten. Aequatorial stellen sich ferner, wenn sie aus der Linie der Polspitzen herausgehoben oder gesenkt werden: undurchsichtiger, krystallisirter Quarz, Zirkon, Beryll, Smaragd, Corund, Vesuvian, und von zweiaxigen Krystallen: Glimmer, (wenn er so aufgehängt wird, daß die Ebene seiner zwei Axen vertikal um die Mittellinie sich drehen kann), Topas, krystallisirter Zucker, Arragonit, Salpeter, Glaubersalz (ihre Längen- und Säulenaxe ist die Mittellinie ihrer optischen Axen und mit dieser stellen sie sich äquatorial).

Nach Plücker zeigt schnell abgekühltes Glas, wie in optischer Beziehung (wovon in der Lehre vom Lichte mehr) auch gegen Magnetpole ein analoges Verhalten mit Krystallen; ein rasch gekühlter Glascylinder stellt sich nämlich wie ein einaxiger Krystall zwischen Magnetpolen mit seiner Axe äquatorial.

Fig. 496.



Die im Eingange des Absatzes als charakteristische Eigenschaft diamagnetischer Substanzen angeführte Abstoßung derselben von den Magnetpolen zeigt sich deutlich an einer kleinen Wismuthkugel von 4—5''' Durchmesser, die am Häkchen h (Fig. 495) so aufgehangen wird (Fig. 496), daß, während der gegenseitige Abstand der horizontalen Polе etwas

kleiner ist als der Durchmesser der Kugel, diese an die Pole anliegt; im Augenblicke, wo man den Strom durch die Drahtwindungen des Elektromagnetes passiren macht, wird die Kugel von den Polen auf eine gewisse Weite abgestoßen und verbleibt daselbst so lang als der Strom circulirt, kehrt aber mit Oeffnung der Kette wieder zur Berührung mit den Polen zurück. Streut man auf eine über die horizontalen Polflächen des Elektromagnetes hingelegte angespannte Papierfläche in einem Achatmörser feingepulvertes Wismuth, so würde dieses, wenn es magnetisch wäre, wie dies (**181**) Eisenfeilspäne thun, die Umrisse der Polflächen scharf abgegrenzt sichtbar machen, indem es sich an diesen Linien mehr als irgendwo anders anhäufen müßte; dies geschieht aber nicht, man sieht im Gegentheil den Rand jeder Polfläche durch einen breiten Streifen bezeichnet, auf welchen auch nicht ein Körnchen Wismuth sich befindet und liegen bleiben kann, zum Beweis, daß dieses anstatt Anziehung Abstoßung erfährt.

256. Diamagnetismus und Magnetismus tropfbar flüssiger Körper. Tropfbare Flüssigkeiten können dem Versuche, nach Faraday's Methode, in Röhrchen aus ganz dünnem Glase, von der in Fig. 497 abgebildeten Gestalt*) unterworfen werden, indem man diese mit der betreffenden Flüssigkeit gefüllten Röhrchen wagrecht zwischen den horizontalen Polen des Elektromagnetes aufhängt... (1), oder man gießt sie, nach Plücker, in ein Taschenuhrglas und setzt dieses auf die besagten Pole, wie es die Fig. 498 anschaulich macht...(2). Im Falle (1) stellt sich das Röhrchen mehr weniger lebhaft und entschieden äquatorial oder axial, jenachdem die darin enthaltene Flüssigkeit diamagnetisch oder magnetisch ist. Bei der Versuchsweise (2) erfährt die im Uhrglase enthaltene Flüssigkeit im Momente, wo man den Strom die Drahtwindungen des Elektromagnetes durchlaufen macht, in der Gestalt eine Veränderung, welche bei magnetischen und diamagnetischen Flüssigkeiten verschieden ist; bei geringem Abstand (von 2·5$^{m \cdot m}$) der Pole zeigen erstere eine Vergrößerung des Durchmessers ihrer ursprünglich kreisförmigen Masse und die Entstehung gleichsam eines Vergrückens an der Oberfläche in äquatorialer Richtung bei letzteren hingegen findet die Vergrößerung des Durchmessers in axialer Richtung und die gleichzeitige Bildung eines Thales in der Mitte und in der Aequatorialebene Statt. Diese eigenthümliche Veränderung dauert so lange als der Strom anhält und verschwindet wieder vollkommen im Augenblicke der Unterbrechung desselben. Auf diesen Wegen wurden als diamagnetisch erkannt: Wasser, Alkohol, Schwefeläther, Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure, Ammoniakflüssigkeit; Schwefelkohlenstoff, fette und ätherische Oele, Milch, Blut, geschmolzenes Wachs, Quecksilber, gesättigte Lösungen von Kochsalz, Glaubersalz u. s. w. Magnetisch zeigte sich in hohem Grade eine Eisenchlorürlösung, ferner eine Lösung von Eisenchlorid, Eisenvitriol, salpetersaurem Nickeloxyd, und Lösungen anderer Salze magnetischer Metalle.

Fig. 497.

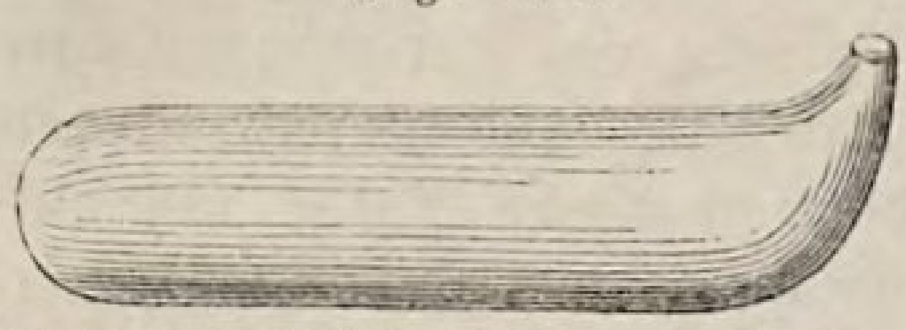
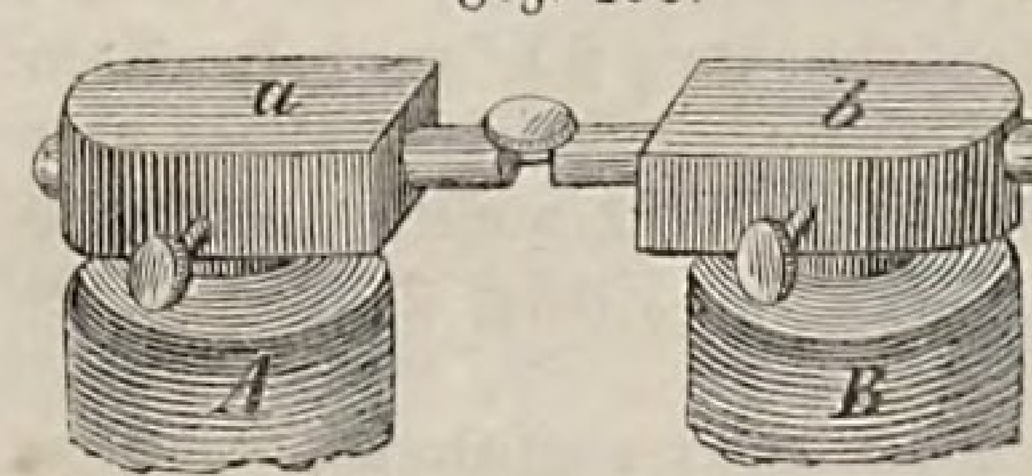


Fig. 498.



*) Glas stellt sich zwar an und für sich äquatorial (**255**); wenn aber die Wände des Röhrchens sehr dünn sind, so ist die diamagnetische Wirkung des letzteren, wenn man mit demselben allein experimentirt, sehr gering, während die Wirkung der gefüllten Röhre der Art ist, daß sie vorzüglich der Flüssigkeit zugeschrieben werden muß. Das Röhrchen darf natürlich nicht mit Wachs oder einer andern Substanz, die für sich selbst schon wirksam wäre, verschlossen werden, sondern es ist am besten, dasselbe offen zu lassen.

Plücker hat die relativen Intensitäten des Magnetismus verschiedener Substanzen bestimmt. Er hat zu dem Ende mit diesen Substanzen der Reihe nach ein durch eine aufgeriebene Glasplatte genau schließbares Uhrglas vollgefüllt, dasselbe in einem an langen Seidenfäden hängenden, dünnen Messingringe an einer sehr empfindlichen, bis auf die Drehaxe eisenfreien Wage äquilibrirt aufgehangen und es dann mit den bis auf 6 Millimeter einander genäherten, abgestumpfte Kegel bildenden Enden sonst prismatischer Halbanker und zwar mit jedem Anker nur in einem Punkte in Berührung gebracht, und nun das nach Erregung des Magnetismus im Elektromagnete (stets mittelst eines constanten Stromes) angezogene Glas durch in die zweite Wagschale gelegte Gewichte von den Halbankern abgerissen. Die Abreißungsgewichte, nach Verminderung um das Gewicht, welches zum Abreißen des an und für sich magnetisch erschienenen leeren Glases und des Ringes erforderlich war, durch die Gewichte der betreffenden Substanzen dividirt, gaben die relativen Intensitäten des Magnetismus bei gleichen Gewichten dieser Substanzen, und es sind so z. B. für die Intensitäten der folgenden Substanzen, die Intensität des Eisens = 100000 gesetzt, die den Substanzen beigesetzten Zahlen erhalten worden: Magneteisenstein 40227; Rotheisenstein 134; Eisenglanz 533; Eisenoxydhydrat 156; Brauneisenstein 71; künstlicher Blutstein 151; Eisenvitriol 78; Eisenchlorür 216; Eisenkies 150 u. s. w.

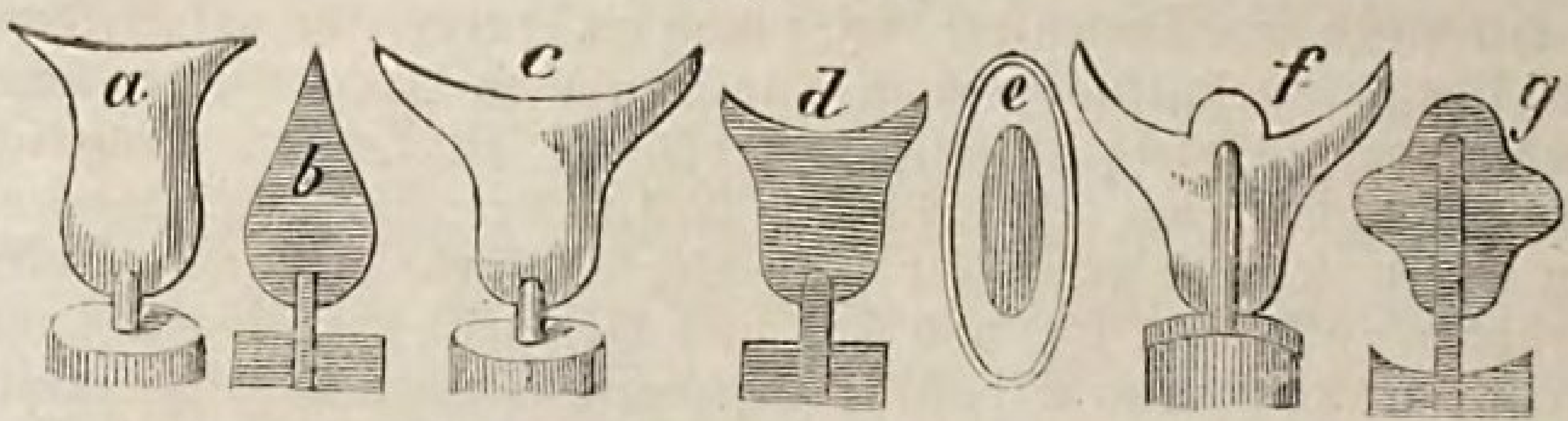
Erfordert das mit einer Substanz gefüllte und dann an der Wage durch Tarirung genau äquilibrirte Glas nach Erregung des Magnetismus ein kleineres Abreißungsgewicht als das eben so äquilibrirte leere Glas; so wird die eingefüllte Substanz von den Magnetpolen offenbar abgestoßen, ist also diamagnetisch, und der Unterschied beider Abreißungsgewichte gibt die Größe der diamagnetischen Abstoßung. Es führt also ein ganz analoges Verfahren, wie bei Ermittlung der relativen Intensitäten des Magnetismus auch zur Bestimmung der relativen Stärken des Diamagnetismus der Substanzen. Setzt man den Diamagnetismus des Wassers = 100, so wird z. B. jener der folgenden Substanzen durch die ihren Namen beigesetzten Zahlen dargestellt: Alkohol (0·813 spez. Gew.) 114; Alkohol (0·851 spez. Gew.) 143; Schwefeläther 127; Schwefelsäure 34; Salzsäure 102; Salpetersäure 48; gereinigtes Kochsalz, gepulvert 79; gepulvertes Wismuthoxyd 35. Terpentinöl 103; Phosphor 100 u. s. w. Uebrigens zeigte Plücker, daß der Diamagnetismus so wie der Magnetismus mit steigender Temperatur abnimmt.

257. Diamagnetismus gasförmiger Stoffe. Derselbe wurde zuerst an Flammen, d. i. in glühendem Zustande befindlichen Gasen durch Bancalari in Genua (1847) beobachtet, indem er fand, daß die Flamme einer Kerze oder Weingeistlampe zwischen den Polen eines Elektromagneten im Augenblicke der Herstellung des Stromes eine Zusammendrückung, also eine Abstoßung erfahre. Faraday und nach ihm Plücker haben diese Entdeckung des Diamagnetismus der Flammen weiter verfolgt und ihre Untersuchungen in dieser Richtung auch auf die andern Gase und gasförmigen Flüssigkeiten (Dämpfe) ausgedehnt. Es wurden diamagnetisch gefunden: Stickstoff (schwach), Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Stickstoffoxydul, Stickstoffoxyd, salpetrigsaures Gas (die beiden letzteren sehr schwach), ölbildendes Gas, Steinkohlengas, schwefligsaures Gas, chlorwasserstoffsaures Gas, jodwasserstoffsaures Gas, Fluorkieselgas, Ammoniak, Cyan, Chlor, Joddampf, Bromdampf, Wasserdampf, atmosphärische Luft, Sauerstoff (dieser unter allen am schwächsten).

Die diamagnetische Abstoßung der Flammen äußert sich verschieden je nach der Natur der letzteren, nach ihrer Lage gegen die Magnetpole, und nach der Gestalt und Entfernung der Pole. Sind diese horizontale einander zugekehrte abgestumpfte Kegel (frühere Fig. 496), so finden unter andern folgende Erscheinungen Statt. Die Flamme einer Wachskerze, nahe an die eine oder andere Seite der axialen Linie gebracht, so daß von ihr etwa $1/3$ über die Pole emporragt, wird bei Erregung der Magnetkraft aus der besagten Linie abweichen gemacht, bewegt sich äquatorial und nimmt, wie durch einen schwachen Wind getrieben, eine geneigte Stellung an. Die Erscheinung verschwindet mit dem Magnetismus.

Ist die Flamme einer ohne Ruß brennenden Kerze gerade zwischen den Polspitzen, während diese etwa in $7/8$ der ursprünglichen Flammenhöhe und in 3·5 Millimeter Abstand von einander sich befinden, so weicht sie in der axialen Richtung gegen die mittlere Querebene zurück und verkürzt ihre Höhe; es findet zugleich auch eine Abweichung derselben in der axialen Linie Statt. Die Fig. 499 zeigt bei

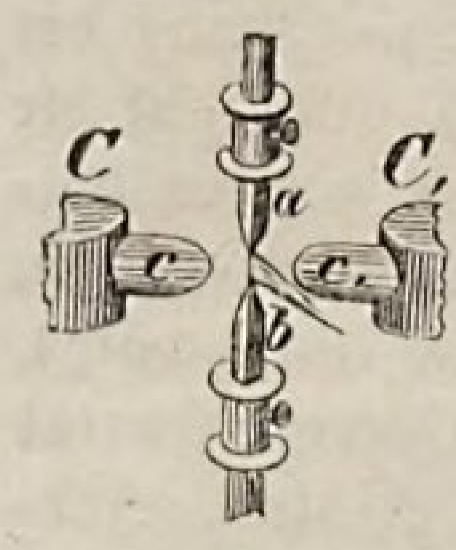
Fig. 499.



a eine äquatoriale Ansicht und bei b einen axialen Durchschnitt der Flamme. Befinden sich die Polspitzen in der halben ursprünglichen Höhe der Flamme, so hat diese in äquatorialer Ansicht, im axialen Durchschnitte und in der Ansicht von oben die Gestalten c, d, e; sind die Polspitzen mit dem obern Dochtende in gleicher Höhe, sieht die Flamme, von der Seite einer der beiden Polspitzen her betrachtet, aus wie f in Fig. 499, und g ist ihr Durchschnitt in axialer Richtung.

Sehr auffallend zeigt sich dieses Alles an der 6—7″ hohen Flamme, welche ein auf Draht gesteckter nußgroßer Baumwollball gibt, wenn er mit Aether getränkt und angezündet wird. Die nämlichen Erscheinungen zeigen die andern verschiedenen Flammen (von Alkohol, Steinkohlengas, Wasserstoff, Phosphor u. s. w.), aber nicht in gleicher Stärke: die hellsten Flammen werden am stärksten afficirt. Am augenfälligsten erhält man die Haupterscheinungen mit dem Qualm einer blos glimmenden und rauchenden Kerze oder mit einem Stück glimmenden Feuerschwammes, Holzspans oder Rauchkerzchens. Wird der rauchende Körper unter die Pole gehalten, so daß der Rauch etwas neben der axialen Linie vorbeigeht und der glimmende Theil sich höchstens 1″ unter dieser Linie befindet, so wird der Rauchstrom in äquatorialer Richtung nach auswärts gebogen. Geht der Rauchstrom durch die axiale Linie und befindet sich der glimmende Theil 4″ unter derselben, so zeigt sich wenig oder gar keine Wirkung; hebt man ihn aber, so daß der Rauch noch warm zwischen den Polen ankömmt, so beginnt er sich zu theilen. Geschieht die Hebung bis auf 1″ Abstand von der axialen Linie, so steigt der Rauch senkrecht in einer Säule empor, bis er etwa $^2/_3$ jenes Abstandes überschritten hat, dann theilt er sich nach rechts und links der axialen Linie und läßt den Raum zwischen den Polen klar. So wie man langsam weiter hebt, geht die Theilung des Rauches tiefer hinab, bis sie bei 0·4—0·5 Zoll Abstand der glimmenden Stelle von der axialen Linie, an der glimmenden Stelle selbst eintritt. Wird noch mehr gehoben, so ist der Effekt so groß, daß sich der Rauch nicht blos theilt, sondern auch zu beiden Seiten der glimmenden Stelle sich herabsenkt. Bei diesem Versuche müssen die Polspitzen 0·25 Zoll von einander abstehen.

Fig. 500.

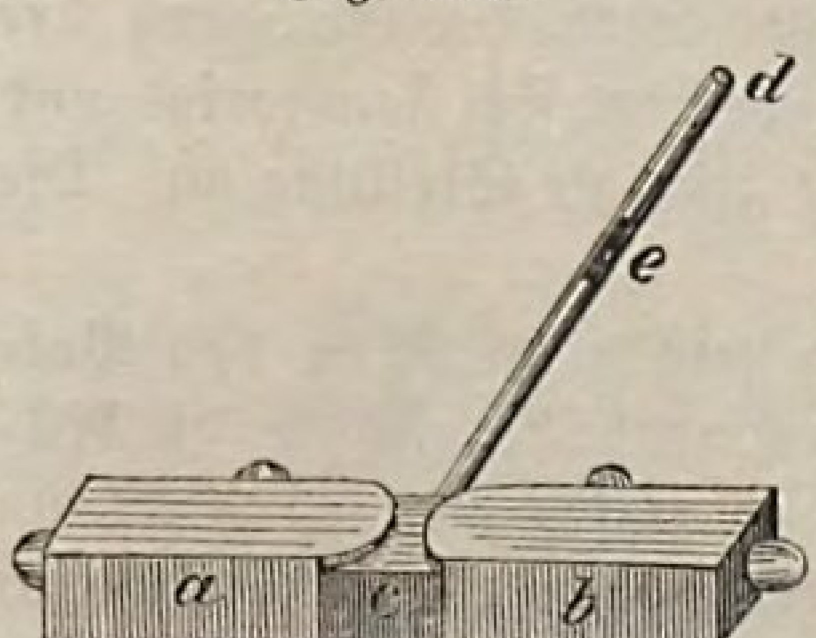


Auch der Lichtbogen, welchen der Volta'sche Strom zwischen Kohlenspitzen erzeugt, erfährt eine auffallende Einwirkung von Magnetpolen; zwischen den im Vorhergehenden oft genannten Polspitzen gestaltet er sich (wie Fig. 500 zeigt, in welcher a, b die Kohlenstangen des auf S. 498 beschriebenen Regulators und c, d die Polspitzen vorstellen), nach Art einer Löthrohrflamme, und seine Richtung hängt von jener des Stromes ab.

Alle Formen, welche Flammen zwischen Magnetpolen zeigen, erklären sich aus der Annahme, daß die Masse der Flammen durch die besagten Pole abgestoßen wird, und daß diese Abstoßung hauptsächlich von der Axenlinie aus nach allen Seiten hin erfolgt.

Die Erscheinungen an den Flammen haben Faraday zur Entdeckung des Diamagnetismus auch anderer Gase und gasförmiger Flüssigkeiten geführt. Um das Verhalten derselben gegen Magnetpole zu erforschen, ließ sie Plücker zwischen den Polspitzen, deren Abstand 3·5 Millimeter betrug, emporsteigen. Bei den farbigen Gasen und Dämpfen, wie bei Chlor, salpetriger Säure, Jod- und Bromdampf zeigte sich die diamagnetische Eigenschaft deutlich dadurch, daß sie

Fig. 501.



äquatorial (nach Art der Flammen) abgestoßen wurden und sich theilten; bei farblosen Gasen entnahm er aus ihrem durch die Sonne auf eine weiße Wand geworfenen Schatten, ob sie die besagte Abstoßung erfuhren oder nicht. Er ersah die in Rede stehende Abstoßung auch aus der Volumsvergrößerung, welche bei einer gasförmigen Flüssigkeit eintrat, wenn sie in ein luftthermometerartiges Gefäß gefüllt, zwischen die Magnetpole gebracht wurde. Dieses Gefäß cd (Figur 501) bestand aus dünnem Messingblech, paßte

genau zwischen die abgerundeten Enden der Halbanker a, b (dieselben, die in der früheren Fig. 498 in verkehrter Stellung auf die obern Schenkelflächen des Elektromagnetes aufgesetzt dargestellt sind), und hatte an der einen Seite eine luftdicht eingepaßte enge Glasröhre, welche, wenn das Gefäß zwischen den Halbankern war, in horizontaler Lage sich befand. Das im Gefäße und in der Röhre eingefüllte Gas war in letzterer durch eine kurze Alkoholsäule e abgesperrt, und die Abstoßung desselben durch die Magnetpole gab sich dadurch kund, daß bei Hervorrufung des Magnetismus im Elektromagnete die Alkoholsäule gegen das äußere Röhrenende hin getrieben wurde und mit Aufhebung des Magnetismus wieder in die ursprüngliche Lage zurückkehrte.

258. Abhängigkeit des Magnetismus oder Diamagnetismus der Substanzen vom Mittel, worin sich diese befinden. Eine Substanz, die in einem Mittel magnetisch erscheint (von Magnetpolen angezogen wird und zwischen denselben sich axial stellt) kann, wie ebenfalls Faraday zuerst dargethan hat, in einem andern Mittel sich diamagnetisch zeigen (von Magnetpolen Abstoßung erfahren und zwischen denselben eine äquatoriale Richtung annehmen). So zeigt sich z. B. eine sehr verdünnte Lösung von Eisenvitriol in eine dünne Glasröhre eingefüllt und zwischen den Magnetpolen aufgehängt, durch Annahme einer axialen Stellung deutlich magnetisch. Dieselbe axiale Stellung nimmt die die Salzlösung enthaltende Röhre auch an, wenn sie zwischen den Polen in Wasser hängt, welches in einer daselbst angebrachten kleinen gläsernen Wanne enthalten ist. Substituirt man aber in der unverrückt belassenen Wanne dem Wasser eine concentrirtere Eisenvitriollösung, als in der Röhre enthalten ist, so erfährt diese bei Schließung der Kette Abstoßung, so daß sie sich entschieden äquatorial richtet. Ein diamagnetisches Stäbchen, z. B. von Schwefel, wird, in eine Lösung von Chlormagnesium eingetaucht, von den Magnetpolen angezogen, erfährt hingegen in Luft, im Wasser, in einer concentrirten Lösung von Eisenchlorür, und in einer Lösung von schwefelsaurem Nickeloxyd, Abstoßung und zwar diese in verschieden starkem Grade. Demnach sind Magnetismus und Diamagnetismus keine absoluten Eigenschaften der Körper, sondern nur relative, nämlich vom Mittel, worin sich die Körper befinden, abhängige Eigenschaften. Nach Plücker findet für die Modification, welche die magnetische Anziehung oder die diamagnetische Abstoßung durch das den betreffenden Körper umgebende Mittel erleidet, folgendes Gesetz Statt: Die Anziehung eines magnetischen Körpers ist nach dessen Eintauchung in eine magnetische oder diamagnetische Flüssigkeit gerade um so viel größer oder kleiner, als vor dem Eintauchen die magnetische Anziehung oder Abstoßung der durch ihn aus der Stelle verdrängten Flüssigkeit betrug, und die Abstoßung eines in eine magnetische oder diamagnetische Flüssigkeit getauchten diamagnetischen Körpers beträgt um eben so viel mehr oder weniger, als die Anziehung oder Abstoßung, welche die durch Eintauchen des Körpers verdrängte Flüssigkeit erfuhr.

Recht schön und lehrreich sind die von Ch. Matteucci in Compt. rend. vom Mai 1853, S. 917 beschriebenen Gleichgewichtsfiguren und Bewegungen, welche gewisse Gemenge aus gleich dichten, tropfbaren und auch aus tropfbaren und gasförmigen Flüssigkeiten zwischen kräftigen Magnetpolen zeigen. Besteht z. B. das Gemenge aus Olivenöl (welches diamagnetisch ist) und einer mit ihm auf gleiche Dichte gebrachten alkoholischen Lösung von (magnetischem) Eisenchlorür, worin ersteres in mehr oder weniger großen Tropfen gleichmäßig vertheilt schwimmt, so sieht man, wenn die Kette des den Elektromagnet erzeugenden Stromes geschlossen wird, die Oeltropfen in äquatorialer Richtung nach außen fliehen, die magnetische Flüssigkeit hingegen an den Polen sich ansammeln; das Umgekehrte findet Statt, wenn Tropfen der Eisenchlorürlösung im Oele schweben. Magnetische oder diamagnetische Tropfen, im Mittelpunkte des magnetischen Feldes ins Gleichgewicht gebracht, zeigen sich, wenn sie einen größeren Durchmesser haben, in axialer oder äquatorialer Richtung zu sphäroidischer Gestalt verlängert. Den eben beschriebenen ganz ähnliche Erscheinungen werden auch mit von

einer tropfbaren Flüssigkeit umgebenen Gasblasen erhalten. So zeigt eine 12—15 Millim. lange Sauerstoffblase, welche in einer Glasröhre von 4-5 Mill. Durchmesser von Alkohol eingeschlossen ist, im Momente der Schließung des Stromkreises eine beträchtliche Zusammenziehung oder Verlängerung, jenachdem sich ihre Mitte zwischen den Polen befindet oder die axiale Linie nahe an einem ihrer Enden vorbei geht. Setzt man successive dem Alkohol Tropfen einer gesättigten Lösung von Eisenchlorür zu, so sieht man die umgekehrte Erscheinung, d. h. eine Verlängerung oder Zusammenziehung der Sauerstoffblase, jenachdem die axiale Linie durch ihre Mitte oder außerhalb derselben vorbeigeht. Zwischen diesen beiden Extremen gibt es eine alkoholische Lösung von Eisenchlorür, worin eine Sauerstoffblase unter Einfluß des Elektromagnetes gar keine Formänderung erfährt; in derselben verhält sich aber eine Wasserstoffblase ganz so, wie die Sauerstoffblase in der eisenchlorürhaltigeren Flüssigkeit.

259. Theoretische Ansichten über den Diamagnetismus. Der Entdecker des Diamagnetismus, Faraday selbst, sprach im Artik. 2429 der 21. Reihe seiner Experimentaluntersuchungen (Pogg. Ann. B. 70, S. 48) seine Ansicht, der Hauptsache nach, wie folgt aus: Eine Erklärung der Bewegungen diamagnetischer Körper und all der dynamischen Erscheinungen, die aus der Wirkung von Magneten auf sie entspringen, möchte sich in der Annahme darbieten, daß die magnetische Induction in ihnen einen Zustand hervorruft, der dem Zustande, welchen diese Induction in magnetischen Körpern erzeugt, entgegengesetzt ist, d. h. daß, wenn man von jeder der zwei Klassen der Körper (der Klasse der magnetischen und der diamagnetischen) ein Theilchen in das magnetische Feld brächte, beide magnetisch würden, und jedes seine Axe parallel der durch sie gehenden magnetischen Resultante stellte, doch mit dem Unterschiede, daß die Theilchen des magnetischen Körpers ihre Nord- und Südpole den entgegengesetzten Polen des inducirenden Magneten zu wenden, die Theilchen des diamagnetischen Körpers hingegen es umgekehrt machen würden. Nach Ampère's Theorie (**243**) würde diese Annahme damit übereinkommen, daß durch die Nähe eines Magneten, sowohl in magnetischen, als diamagnetischen Körpern Ströme inducirt werden, daß diese aber mit den im inducirenden Magnete vorhandenen bei magnetischen Körpern gleiche, bei diamagnetischen hingegen entgegengesetzte Richtung haben, und daß somit dem erregenden Magnetpole in einem magnetischen Körper immer ein ungleichnamiger, in einem diamagnetischen Körper hingegen ein gleichnamiger Pol gegenüber zu stehen käme... (†). Der eben unter (†) ausgesprochene Satz erhielt schon Bestätigung und mithin die Faraday'sche Ansicht Bekräftigung durch Reich, indem dieser durch Versuche zeigte, daß zwei entgegengesetzte Magnetpole, wenn sie zugleich von derselben Seite her auf einen diamagnetischen Körper wirken, denselben nicht mit der Summe, sondern mit der Differenz ihrer Kraft abstoßen*) (Pogg. Ann. B. 73 S. 60); denn dieses folgt nothwendig, wenn, wie Satz (†) es ausspricht, die besagten entgegengesetzten Magnetpole auch in dem diamagnetischen Körper Polaritäten hervorrufen, die einander entgegengesetzt sind, also auf jedem Magnetpol nur mit einer ihrem Unterschiede gleichen Resultirenden wirken können; während, wenn die Abstoßung blos von den unveränderlichen Theilchen des diamagnetischen Körpers herkäme, d. i. indifferent und

*) Reich wendete zu diesen Versuchen die Drehwage an, welche zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde gedient hatte und in einem 2 Meter langen hölzernen Arm besteht, der in einem hölzernen Gehäuse horizontal an einem Kupferdraht aufgehängt ist, an jedem Ende eine an einem feinen Drahte hängende Metallkugel und einen Spiegel trägt, in welchem mit einem Fernrohr an einer entfernten Scale die Stellung des Armes beobachtet wird. Als eine der Kugeln, die aus Zinn mit 10 Prozent Wismuth und 2 Prozent Blei bestanden, ein Nord- oder Südpol eines Magnetes horizontal genähert wurde, zeigte sich eine deutliche Abstoßung der Kugel und Verrückung des Armes auf der Scale. Wirkten Nord- und Südpol gleichzeitig von derselben Seite her auf die Kugel, so zeigte sich die oben besagte Wirkung mit der Differenz ihrer Kräfte.

nicht Folge der von Faraday angenommenen Induction wäre, die entgegengesetzten Magnetpole mit der Summe ihrer Kräfte auf den diamagnetischen Körper wirken müßten. Weitere Begründung und Befestigung erhielt die Faraday'sche Ansicht durch Untersuchungen von Weber (Pogg. Ann. B. 73, S. 241), welche nicht nur feststellten, daß in einem diamagnetischen Körper wirklich dem erregenden Nordpol ein Nordpol und dem erregenden Südpole ein Südpol zugekehrt sei, sondern ferner zeigten, daß, wie aus Faraday's Ansicht folgt, auch diamagnetische Kräfte vorkommen, welche anziehend auf einen Magnetpol wirken, so wie, daß ein in der Wirkungssphäre eines Magnetes bewegter Wismuthstab (diamagnetischer Körper) in einem benachbarten Leiter (einen Kupferdraht) elektrische Ströme im entgegengesetzten Sinne errege, als ein dem Wismuthstab substituirter Eisenstab*), ganz so wie es sein müßte, wenn das Wismuth magnetische Fluida oder, was auf dasselbe hinausgeht, Ampère'sche Molekularströme enthielte, die unter dem Einflusse starker Magnete gerade entgegengesetzt bewegt oder gedreht würden wie im Eisen. Könnten nun diese Fluida oder Molekularkräfte wirklich enthalten sein, so wäre die Faraday'sche Ansicht nicht blos außer allen Zweifel gestellt, sondern derselben in ihrer Wesenheit auch nichts Weiteres mehr beizufügen. Allein dieses Enthaltensein der magnetischen Fluida oder der die Molekel continuirlich umkreisenden Ampère'schen Ströme in dem diamagnetischen Körper ist, nach Weber, nicht denkbar, denn sonst könnte auf einen solchen Körper ein Magnetpol offenbar nicht anders einwirken als auf einen magnetischen Körper, d. i. er müßte, wie in diesem, die Fluida scheiden oder die bereits vorhandenen Molekularströme denen des einwirkenden Magnetpols parallel stellen, und es müßte ein diamagnetischer Körper unter dem Einflusse eines Magnetpols gerade so gerichtet werden und dieselbe Polarität annehmen, wie ein magnetischer Körper. Die magnetischen Fluida und die ihnen äquivalenten Ampère'schen Molekularströme sind daher bei der Erklärung des Diamagnetismus nicht brauchbar, und eben so wenig sind es in größeren Kreisen (in der Masse der Leiter) inducirte Ströme, da diese nur einen Moment dauern, also nicht anhalten. Man reicht aber bei der Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen vollkommen aus, wenn man annimmt, daß in den diamagnetischen Körpern, z. B. in Wismuth, nicht, wie in magnetischen Körpern, z. B. Eisen, unabhängig von äußerer Einwirkung schon Ströme vorhanden sind, die nur gerichtet zu werden brauchen, sondern daß in diamagnetischen Körpern der Magnet erst Ströme erzeugt (inducirt), daß diese dann nur die Molekel umkreisen und nicht von einem Molekel zum andern fortschreiten, ferner den Ampère'schen Strömen des inducirenden Magneten entgegengesetzt gerichtet sind. Solchen Strömen kann Beharrlichkeit vindicirt werden, weil sie auf ihren Bahnen um die Molekel keinen Widerstand erfahren, also, einmal angeregt, in gleicher Intensität fortdauern können, während die oben erwähnten in der Masse des Leiters sich bewegenden inducirten Ströme durch den Leitungswiderstand, den sie zu überwinden haben, ihre lebendige Kraft so rasch verlieren, daß sie in unmeßbar kleiner Zeit wieder verschwinden müssen, wenn der Verlust nicht durch fortdauernde elektromagnetische Kräfte immer ersetzt wird.

---

*) Weber hat in einer Abhandlung „Ueber den Zusammenhang der Lehre vom Diamagnetismus mit der Lehre vom Magnetismus und von der Elektrizität," zwei von ihm erdachte Apparate beschrieben, wovon der eine zur Beobachtung und Messung der diamagnetischen Polarität und der andere zur Inducirung elektrischer Ströme in einem Leiter mittelst eines diamagnetischen Körpers und zur Messung dieser Ströme bestimmt ist. Diese eben so einfachen als sinnreichen Apparate thun, in eklatanter Weise dar, daß es eben so wie Elektromagnetismus und Magnetoelektrizität, auch Elektrodiamagnetismus und Diamagnetoelektrizität gebe. Das Nähere findet man in Pogg. Ann. Nr. 10, 1852, S. 145.

Der wesentliche Unterschied zwischen Wismuth und Eisen würde sonach darin bestehen, daß in letzterem unabhängig von äußerer Erregung Molekularströme vorhanden sind, deren Richtung aber nicht unveränderlich, sondern dem Einflusse äußerer Kräfte unterworfen ist, was bei Wismuth nicht der Fall wäre. Nach der nun gegebenen Weber'schen Theorie sind also die Erscheinungen des Diamagnetismus durch Molekularströme zu erklären, welche in diamagnetischen Körpern durch Annäherung gegen einen Magnetpol oder dadurch inducirt werden, daß in einem benachbarten Pole der Magnetismus entsteht, und welche so lange fortdauern, bis das Verschwinden des Magnetismus in dem Magnetpole oder die Entfernung des diamagnetischen Körpers von demselben eine entgegengesetzte Induction bewirkt, und dadurch die Wirkung der früheren aufhebt.

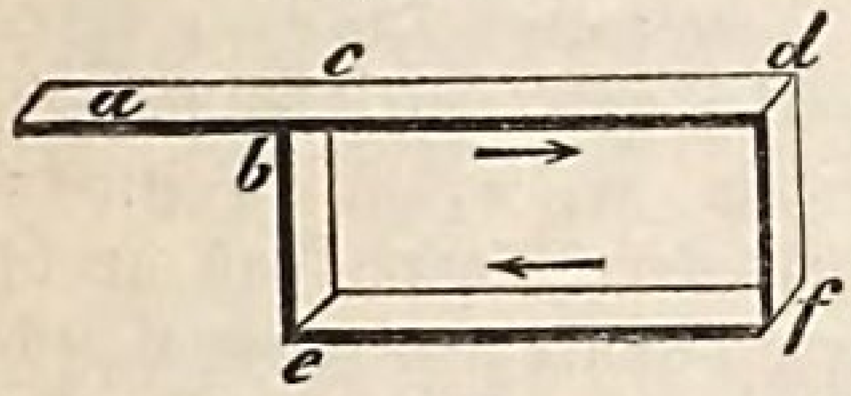
So natürlich die obige Theorie aus der Erscheinung folgt, so findet es v. Feilitzsch doch auffallend, daß ein und dasselbe Agens entgegengesetzte Wirkungen haben sollte, jenachdem ihm die eine oder die andere Substanz dargeboten würde. Im Eisen soll es die vorhandenen Molekularströme so richten, daß sie in gleichem Sinne sich bewegen mit denen, welche den Magnetismus konstituiren; im Wismuth sollen keine Molekularströme vorhanden sein, sondern es soll der Magnetismus erst Molekularströme induciren, welche den ihn constituirenden entgegengesetzt sind, oder, was dasselbe ist, in jedem Molekel des dargebotenen Eisenstabes soll sich der Nordpol dem erregenden Südpole zuwenden; in jedem Molekel eines dem Magnet genäherten Wismuthstabes aber soll dem inducirenden Südpole ein Südpol sich zuwenden. Dieser Schwierigkeit sucht v. Feilitzsch auszuweichen, indem er (zu Folge des durch van Rees dargethanen Satzes, daß in einem Stahl- oder Eisenmagnet das magnetische Moment der kleinsten Theilchen von der Mitte nach den Polen hin abnehmen muß, wenn die Polarität des ganzen Stabes den Polaritäten der kleinsten Theilchen gleichgerichtet sein soll, daß aber bei derselben Richtung der Polaritäten der kleinsten Theilchen eine entgegengesetzt gerichtete Polarität des ganzen Stabes denkbar ist, wenn das magnetische Moment von der Mitte nach den Polen hin wächst, und daß alsdann nur die Endflächen die gewöhnliche Polarität zeigen) annimmt, der inducirende Magnet errege die kleinsten Theilchen magnetischer wie diamagnetischer Substanzen in gleichem Sinne, so daß dem Südpole des Magneten die Nordpole aller kleinsten Theilchen zugewendet werden und umgekehrt; in diamagnetischen Substanzen nehme bei der gewöhnlichen Erregungsart das magnetische Moment der kleinsten Theilchen vom Ende nach der Mitte hin ab, während in magnetischen Substanzen das magnetische Moment der kleinsten Theilchen vom Ende nach der Mitte hin zunimmt. In die Sprache der Ampère'schen Theorie übersetzt, hieße dies nichts anderes als: in magnetischen wie in diamagnetischen Substanzen finden sich elektrische Molekularströme vor, welche durch den Magnetismus oder durch den elektrischen Strom so gerichtet werden, daß sie sich in gleichem Sinne mit denjenigen Strömen bewegen, welche den magnetisirenden Einfluß ausüben. Es findet einzig der Unterschied Statt, daß die diamagnetischen Körper der richtenden Kraft einen größeren Widerstand (eine größere Coercitivkraft) entgegensetzen als die magnetischen Körper. Die Coercitivkraft der diamagnetischen Körper ist so groß, daß die Molekularströme derselben von dem Centrum der Erregung aus in weit beträchtlicherem Maßstabe abnehmen, als dieses in magnetischen Substanzen der Fall ist. Wie v. Feilitzsch diese seine Ansicht näher motivirt, muß in Pogg. Ann. B. 82, S. 90 eingesehen werden.

260. Thermoelektrizität. In gewissen Körpern bewirkt schon eine gehörige Temperaturveränderung die Störung des natürlichen elektrischen Gleichgewichtes, so daß dieselben nachher, jenachdem sie gute Elektrizitätsleiter sind und zugleich der Wiederausgleichung der besagten Störung auch sonst noch Raum gegeben ist, Erscheinungen elektrischer Strömung, oder im entgegengesetzten Falle, Elektrizität im Spannungszustande zeigen. Man nennt die durch Wärme erregte Elektrizität im Allgemeinen Thermoelektrizität, faßt aber insbesondere unter diesem Namen im engeren Sinne die Erscheinungen der elektrischen Strömung zusammen, welche, wie Seebeck im Jahre 1821 entdeckte, durch den bloßen Einfluß der Wärme in den besten Elektrizitätsleitern, den Metallen, hervorgerufen wird, und bezeichnet dann zum Unterschiede die Thermoelektrizität im Spannungszustande mit der Benennung Pyroelektrizität.

Thermoelektrische Strömung. Erhält ein Metallstück an verschiedenen Stellen ungleiche Temperaturen, so bilden die rücksichtlich ihres Wärme-

zustandes heterogenen Metall-Parthien bei passender Aneinanderreihung eine elektrische Kette, und es entsteht, wenn diese Kette durch einen entsprechenden Leitungsbogen desselben oder eines andern Metalles u. s. w. geschlossen ist, ein elektrischer Strom. Wird ein größeres Stück eines Streifens oder Drahtes aus Kupfer zu einem Rechtecke zusammengebogen (Fig. 502), das hervorstehende Ende

Fig. 502.



a stark (am besten bis zum Glühen) erwärmt und dann mit demselben das zweite Ende b in Berührung gebracht, so zeigt eine innerhalb des Bogens (zwischen den Seiten cd und ef) oder nahe über oder unter demselben schwebende Magnetnadel einen in der Richtung der Pfeile, also vom heißen zum kalten Ende gehenden Strom an. Ein eben solcher Strom wird noch weit besser aus der Ablenkung einer Multiplikatornadel ersichtlich, wenn man das eine Ende des Kupferdrahtgewindes rothglühend macht und nachher an das andere kalte Drahtende andrückt. Es ändert nichts in der Wesenheit des Erfolges, wenn in beiden Fällen die besagte einseitige Erhitzung erst, nachdem die Berührung der Bogenenden a, b oder der Enden des Multiplikatordrahtes hergestellt worden, vorgenommen wird, oder wenn man im letzteren Falle den Versuch anstatt mit den Drahtenden des Multiplikators selbst, mit Metallstücken anstellt, welche mit diesen Enden völlig gleichartig und mit denselben vereinigt sind*). Aehnliche Resultate erhält man unter gleichen Umständen auch mit andern Metallen, nur zeigen sich diese in Bezug auf Richtung und Stärke des thermoelektrischen Stromes verschieden. In ersterer Rücksicht theilen sie sich in zwei Klassen, nämlich in solche, bei welchen der (positive) Strom von der erhitzten Stelle nach der kalten hin, und in solche, bei welchen er in entgegengesetzter Richtung geht. In die erste Klasse gehören Platin, Gold, Silber, Kupfer; in die zweite die durch Hitze leicht oxydirbaren Metalle, wie Zinn, Blei, Zink, Messing, Antimon und Wismuth. In Hinsicht auf Stromstärke bei gleicher Temperatur-Differenz folgen in abnehmender Reihe die eben angeführten Metalle also aufeinander: Wismuth (das stärkste), Antimon, Zink, Silber, Platin, Kupfer, Messing, Gold, Blei, Zinn. Bei demselben Metalle richtet sich die Intensität des thermoelektrischen Stromes nach der Größe der Temperatur-Differenz.
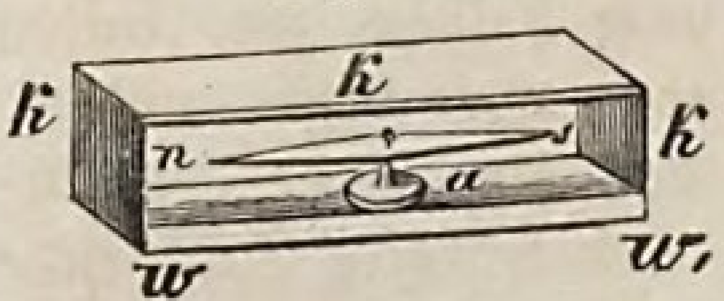
An dem in Rede stehenden Strome hat sicherlich die mehr oder weniger krystallinische Struktur der Metalle einen namhaften Antheil. Dies zeigt klar der Umstand, daß sich an einem Wismuthstäbchen, wenn man durch Erwärmen desselben an verschiedenen Punkten Ströme verschiedener Richtung erhält, beim Zerbrechen im Innern immer entgegengesetzt ausgehende krystallinische Fügungen vorfinden. Nach Franz (Pogg. Ann. B. 83, S. 314) wird bei einem Stücke Wismuth von überall gleicher Hauptspaltungsrichtung die Richtung des durch Erwärmen desselben erzeugten positiven Stromes immer durch die Neigung der besagten Hauptspaltungsrichtung gegen die erwärmte Stelle angedeutet. Die aus dieser Erfahrung gezogene Vermuthung, daß in dem im Folgenden besprochenen Falle, wo Wismuth in Berührung mit einem andern Metalle einen Strom liefert, die verschiedene Lage des Wismuths gegen das andere Metall bezüglich der Stärke des Stromes von Bedeutung sein dürfte, hat sich bestätigt. Es ist dies wichtig für die Construktion der (im nächsten Absatze abgehandelten) thermoelektrischen Säulen. Nach Svanberg geht beim Antimon wie beim Wismuth, wenn man Stücke anwendet, die senkrecht gegen den Hauptblätterdurchgang geschnitten sind, der Strom von der warmen zur kalten Stelle; umgekehrt hingegen in nach der Richtung der Durchschnittslinie der beiden Blätterdurchgänge geschnittenen Stücken.

261. Thermoelektrische Ketten aus verschiedenen Metallen. Weit kräftigere thermoelektrische Ströme, als sie irgend ein einziges Metall zu liefern vermag, erhält man durch aus verschiedenen Metallen zusammengesetzte, ge-

*) Die Multiplikatoren für thermoelektrische Versuche müssen aus Gründen, die erst später klar werden können, nur wenige Windungen (30—100) eines 0·3 oder 0·4 Linien dicken Drahtes haben.

schlossene Ketten und Hervorrufung entsprechender Temperatur-Differenzen in denselben vorzüglich an den Vereinigungsstellen der verschiedenen Metalle. Werden zwei Stücke (Stäbe, Streifen ꝛc. ꝛc.) ungleichartiger Metalle so mit einander vereinigt (am besten durch Zusammenlöthen), daß sie eine geschlossene Kette bilden, so entsteht in dieser, so oft verschiedene Punkte derselben und insbesondere beide Vereinigungsstellen ungleiche Temperaturen erhalten, ein elektrischer Strom, dessen Intensität bei derselben Metallcombination mit der Temperatur-Differenz wächst, und welcher so lange dauert als diese. Recht augenfällig und leicht läßt sich dies mittelst der in Fig. 503 abgebildeten Vorrichtung zeigen. w, w_1 ist ein etwa 6'' langer, ½'' breiter und 2''' dicker Wismuthstab, an dessen Enden ein eben so breiter, dünner und zweimal rechtwinklig gebogener Kupferstreifen k festgelöthet ist; Stab und Streifen sind von einander gerade weit genug entfernt, um dazwischen auf einem kleinen Fuße a eine Magnetnadel n s freischwebend aufstellen zu können. Stellt man nun

Fig. 503.



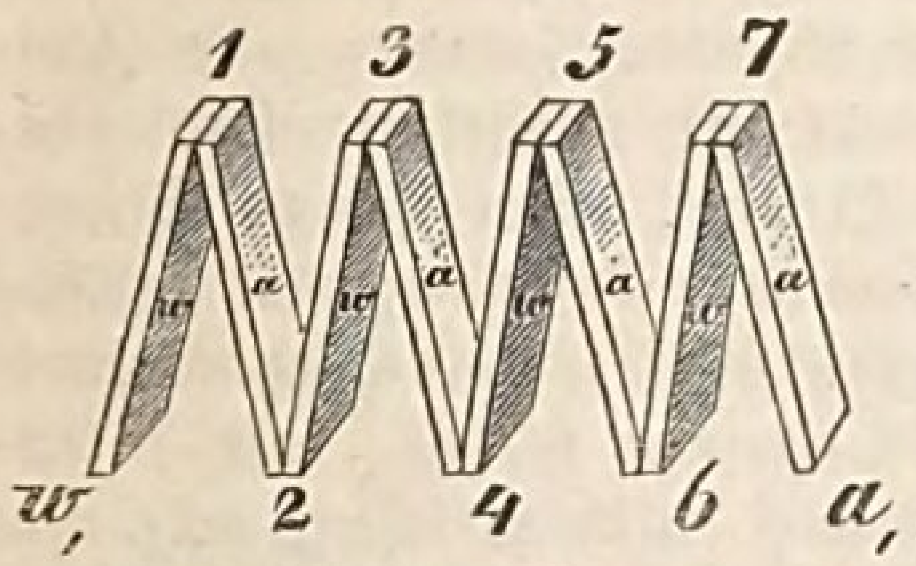
diese Combination so, daß die Längenkanten des Wismuthstabes der Ebene des magnetischen Meridians und mithin auch der Richtung der Magnetnadel parallel sind, so wird, so lange alle Punkte dieses Systems die nämliche Temperatur haben, die Nadel unverrückt in ihrer Lage verbleiben. Sobald aber in der Wismuth-Kupferkette eine Temperatur-Differenz eintritt, namentlich eine der Löthstellen merklich erwärmt oder abgekühlt wird, erleidet die Magnetnadel eine Ablenkung in dem einen oder im entgegengesetzten Sinne, jenachdem die Löthstelle w oder w_1 die Erwärmung erfährt, oder anstatt einer Erwärmung eine Abkühlung derselben Löthstelle bewirkt wird. Anstatt mit dem besagten Kupferstreifen kann man den Wismuthstab bei w und w_1 auch mit den Enden des Kupferdrahtes eines passenden Multiplikators zusammenlöthen und eine dieser Löthstellen erwärmen oder abkühlen. Die Multiplikatornadel wird dann den thermoelektrischen Strom um so auffallender anzeigen.

Auch andere Metallcombinationen, als die eben betrachtete aus Wismuth und Kupfer, geben wirksame thermoelektrische Ketten; allein sie unterscheiden sich in Bezug auf die Richtung und Stärke des Stromes, den sie liefern, und es lassen sich die Metalle in eine Reihe der Art zusammenstellen, daß, wenn was immer für ein Glied dieser Reihe mit einem der folgenden Glieder zu einer Kette vereinigt und seine Berührungsstelle mit diesem folgenden Gliede erwärmt wird, der entstehende Strom immer vom ersteren Gliede zum letzteren geht, und daß bei gleicher Erwärmung der Strom um so stärker ist, je weiter in der Reihe von einander abstehende Metalle vereinigt sind. Eine solche Reihe (thermoelektrische Spannungsreihe) ist: Wismuth, Nickel, Neusilber, Platin, Messing, Zinn, Kupfer, Gold, Silber, Zink, Stahl, Eisen, Antimon.

Demnach werden, was die Stärke des Stromes anbelangt, alle andern thermoelektrischen Combinationen von der Wismuth-Antimon-Kette übertroffen. Löthet man das eine Ende eines Wismuthstäbchens mit dem einen Ende eines Antimonstäbchens zusammen und verbindet die freien Enden beider Stäbchen mit den Drahtenden eines passenden Multiplikators, so erhält man schon bei einer geringen Erwärmung oder Abkühlung der Löthstelle eine bedeutende Ablenkung der Multiplikatornadel. Durch Aneinanderreihung und Vereinigung mehrerer solcher einfacher Ketten (thermoelektrischer Elemente) aus Wismuth- und Antimonstäbchen, — der Art, daß man bei abwechselnder Folge dieser Stäbchen das freie Wismuthende des einen Elementes mit dem freien Antimonende des zweiten Elementes, und das Wismuthende der so erhaltenen Combination wieder mit dem freien Antimonende des dritten Elementes und so fort zusammenlöthet, übrigens jedes Stäbchen von dem andern isolirt ist, und daß alle geraden (bei fortlaufender Nummerirung mit geraden Zahlen zu bezeichnenden) Löthstellen nach einer und alle ungeraden

Löthstellen nach der entgegengesetzten Seite gekehrt sind (wie Fig. 504 zeigt, wo w Wismuth und a Antimon bedeutet), — entsteht eine sogenannte thermoelektrische Säule oder Thermosäule, welche, da die bei Erwärmung oder Abkühlung der nach der nämlichen Seite gewendeten Löthstellen stattfindenden Erregungen sich gegenseitig unterstützen, je nach der Anzahl der einzelnen in ihr vereinigten Elemente diese an thermoelektrischer Wirksamkeit mehr oder weniger übertreffen muß. Setzt man die Enden w_1, a_1 der Säule mit dem Multiplikator in Verbindung, erwärmt zu gleichem Grade zuerst eine, dann zwei, nachher drei u. s. f. der nach einer Seite gekehrten Löthstellen, während die andern beständig bei derselben niedrigeren Temperatur erhalten werden, ertheilt ein anderes Mal allen einerseits liegenden, z. B. allen ungeraden Löthstellen, eine constant bleibende Temperatur, den geraden Löthstellen hingegen successive Temperaturen, die sowohl von dieser constanten, als unter einander verschieden sind; so zeigen sich die aus den erfolgenden Ablenkungen der Multiplikatornadel abgeleiteten Intensitäten der correspondirenden Ströme bei der ersten Versuchsreihe der Anzahl der erwärmten Löthstellen und bei der zweiten Versuchsreihe den Temperatur-Differenzen der geraden und ungeraden Löthstellen proportional. Diesem nach ist die Thermosäule in Verbindung mit dem Multiplikator ein wahres Differenzial-Thermometer (Instrument zum Messen von Temperaturunterschieden), und sie kann durch Zusammensetzung aus hinreichend vielen Wismuth-Antimon-Elementen und anderweitige zweckmäßige Einrichtung zu dem empfindlichsten Instrumente dieser Art gemacht werden, so daß sich damit die geringsten Temperaturveränderungen (von $1/_{6000}$ Grad nach **R.**) erkennen und die subtilsten Wärmemessungen vornehmen lassen. Das Nähere über die Anwendung und Leistungen dieses von Melloni Thermo-Multiplicator benannten Instrumentes wird in der Wärmelehre vorkommen. Hier soll nur noch im Wesentlichen seine zweckmäßigste Einrichtung besprochen werden.

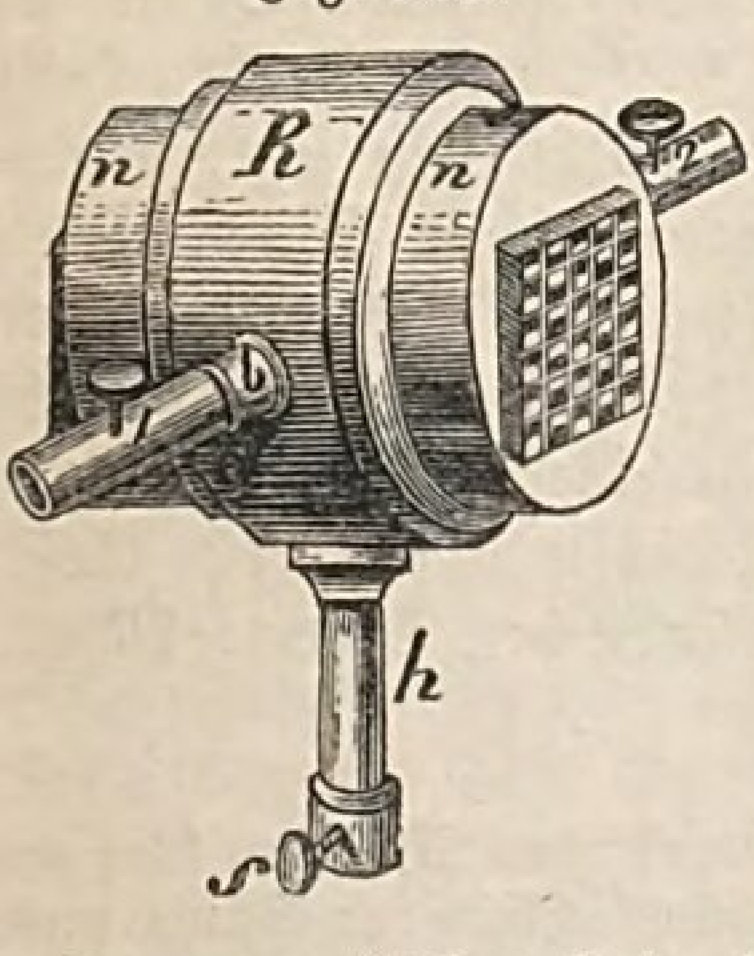
Fig. 504.



Nach Regnault's neuesten Versuchen ist die Intensität des in einem thermoelektrischen Elemente erregten Stromes der Temperaturerhöhung der Löthstelle nicht proportional.

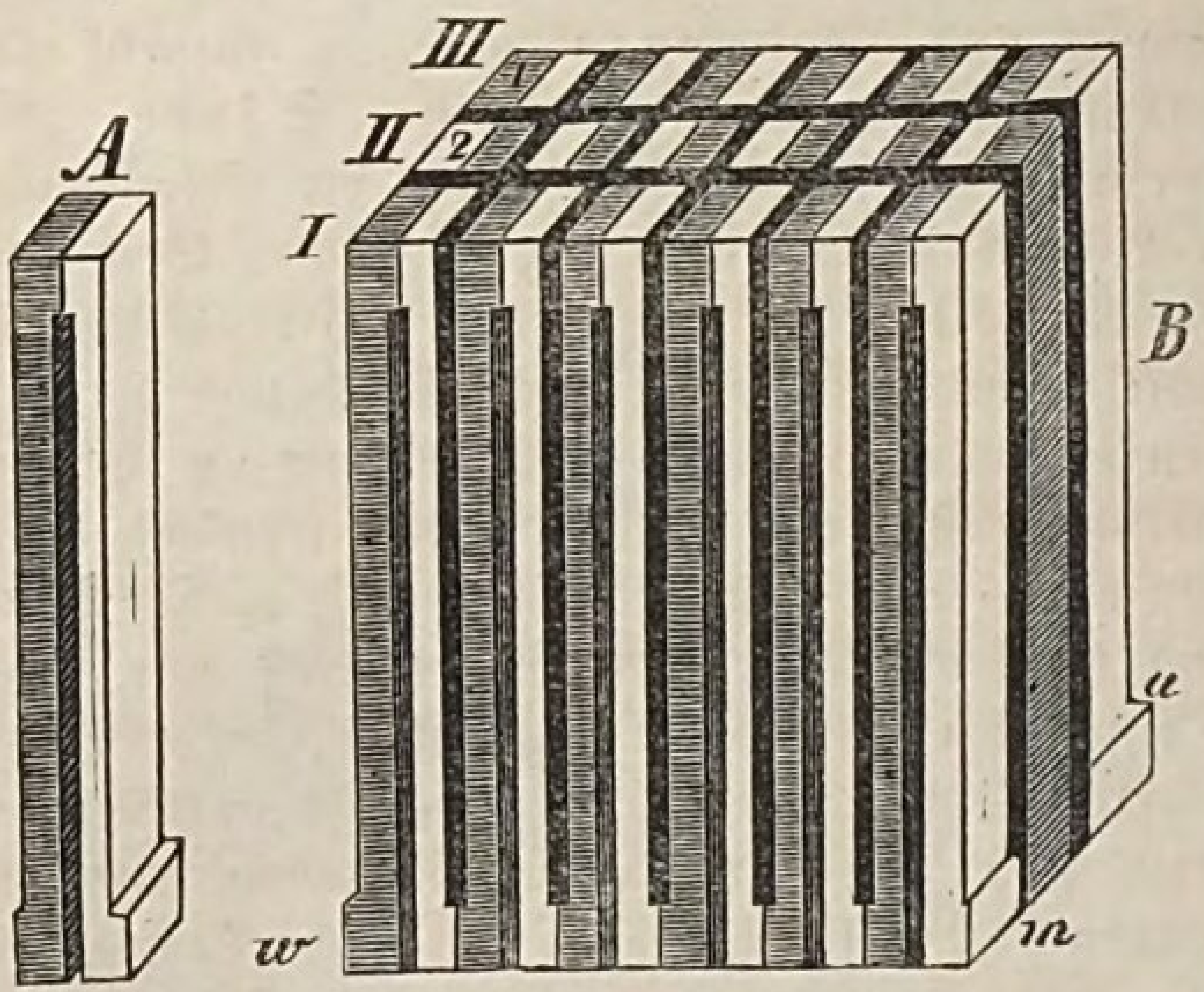
262. Einrichtung des Thermo-Multiplikators. Die Construktion der Thermosäule, so wie sie Nobili angegeben, und wie sie sich als die beste bewährt, ist aus den Figuren 505 und 506 deutlich zu entnehmen. Die Figur 505 stellt eine solche aus 55 Wismuth-Antimon-Elementen bestehende, von Ilgmann in Breslau verfertigte Säule in natürlicher Größe und perspektivischer Ansicht dar, und in Fig. 506 ist bei **A** die Gestalt der Wismuth- und Antimonstäbchen und bei **B** die Art anschaulich gemacht, wie sie an den Enden zu Wismuth-Antimon-Elementen, diese zu Reihen **I, II, III** ꝛc. ꝛc. und die Reihen zur ganzen Säule (durch Zusammenlöthen) vereinigt sind. Ueberall ist Wismuth schraffirt und Antimon weiß dargestellt. Die Reihe **I** ist mit der Reihe **II** unten bei m zusammengelöthet, und die Vereinigung der Reihe **II** mit **III** dadurch bewerkstelligt, daß die Stäbchen **1, 2** an den untern Enden in der Art, wie bei m zusammengelöthet sind. Die Stäbchen sind 13‴ lang, 0·7‴ breit und an der dicksten Stelle 0·35‴ dick*); die Isolirung der einzelnen Stäbchen und der Rei-

Fig. 505.



*) Wegen des geringeren Leitungsvermögens des Wismuths und Antimons und des daraus

Fig. 506.



hen von einander (außerhalb der Löthstellen) ist durch dünne, in den Figuren schwarz angedeutete Harzschichten, womit alle Zwischenräume ausgefüllt sind, bewerkstelligt. Der so zu Stande gekommene kompakte prismatische Metallkörper ist mit Harz in einem Messingringe **R** (Fig. 505) festgekittet, durch welchen, von ihm mittelst Beinhülsen b isolirt, zwei mit Klemmschrauben versehene Messingstifte 1, 2 hindurch gehen, die mit den zwei äußersten Halbelementen der Säule, der eine mit dem von Wismuth (w) und der andern mit dem aus Antimon (a) in leitender Verbindung stehen. Mittelst der, eine Klemmschraube s enthaltenden Hülse h am Ringe **R** läßt sich die Säule auf einem passenden Träger aufstecken, und mittelst auf die Ringabsätze bei n aufschiebbarer Messingdeckel nach Außen hin schützen. Zugleich haben diese Absätze die Bestimmung, das Aufstecken cylindrischer oder nach außen konisch sich erweiternder Röhren (Reflektoren, wovon in der Wärmelehre) zu gestatten. Der Multiplikator hat am zweckmäßigsten ganz die in **221** beschriebene Einrichtung; nur besteht, wie schon oben bemerkt worden, das multiplicirende Gewinde aus kürzerem und dickerem Drahte. Uebrigens richtet sich Behufs der Erzielung der möglich besten Wirkung die Länge (die Anzahl der Windnugen) und Dicke dieses Drahtes nach dem Materiale desselben, und nach der Beschaffenheit der Säule, insbesondere der Größe des Leitungswiderstandes in derselben. Mehr hierüber wird an einem andern Orte folgen.

Wendet man einen 70 Fuß langen und 0·4 Linien dicken Kupferdraht, ferner eine astatische Doppelnadel an und läßt den Strom nicht der ganzen Drahtlänge nach, sondern durch den doppelten Draht von der halben Länge gehen, so hat man, nach Magnus, einen äußerst empfindlichen Multiplikator für Thermoelektrizität.

263. Weitere Wirkungen thermoelektrischer Ströme. Außer der besprochenen Wirkung auf die Magnetnadel können thermoelektrische Ströme, ganz so wie Volta'sche, auch Erschütterungen, Licht- und Wärmeerscheinungen, chemische Zersetzungen u. s. w. bewirken*). Wird eine Wismuth-Antimon-Säule von 25—30, aus massiven (etwa 3″ langen ½″ breiten und ¼″ dicken) Stäben bestehenden Elementen mit den nach der einen Seite gekehrten Löthstellen in kochendes Wasser getaucht, während die Löthstellen auf der entgegengesetzten Seite mittelst kalten Wassers, Eis oder einem Kälte erzeugenden Gemische (aus Eis oder Schnee und Salz) auf sehr niedriger Temperatur erhalten; so bekömmt man bei Schließung der Kette einen Strom, welcher einen Eisenkern in einer Drahtspirale zum Elektromagnet macht und beim Durchgange durch einen dünnen Platindraht diesen eine Temperaturerhöhung ertheilt, die sich an einem empfindlichen Thermo-Multi-

---

entspringenden größeren Leitungswiderstandes müssen die betreffenden Stäbchen kurz und verhältnißmäßig dick sein und kann auch die größte Empfindlichkeit der Säule unter sonst gleichen Umständen nur durch eine mäßig große Anzahl von Wismuth-Antimon-Elementen erreicht werden.

*) Kohlrausch hat nachgewiesen, daß auch die Thermosäule freie Spannungselektrizität besitzt und zwar, eben so wie eine Hydrokette, an ihren Polen, wenn sie geöffnet, und auf ihrer ganzen Oberfläche, wenn sie geschlossen ist. (Pogg. Ann., B. 82, S. 411.)

plikator, wenn der besagte Platindraht einer Seite der Thermosäule recht nahe gebracht wird, deutlich kund gibt. Schaltet man in den Stromkreis das aus dickerem Drahte bestehende Gewinde einer, nach Art der in **248** beschriebenen Inductionsrolle mit zwei Gewinden und ferner einen Stromunterbrecher (etwa das auf S. 442 beschriebene Blitzrad) ein; so kann man in dem aus dünnerem Drahte bestehenden zweiten Gewinde der Inductionsrolle inducirte Ströme erhalten, welche glänzende Funken geben, heftige Erschütterungen erzeugen und Wasser zersetzen.

Fig. 507.

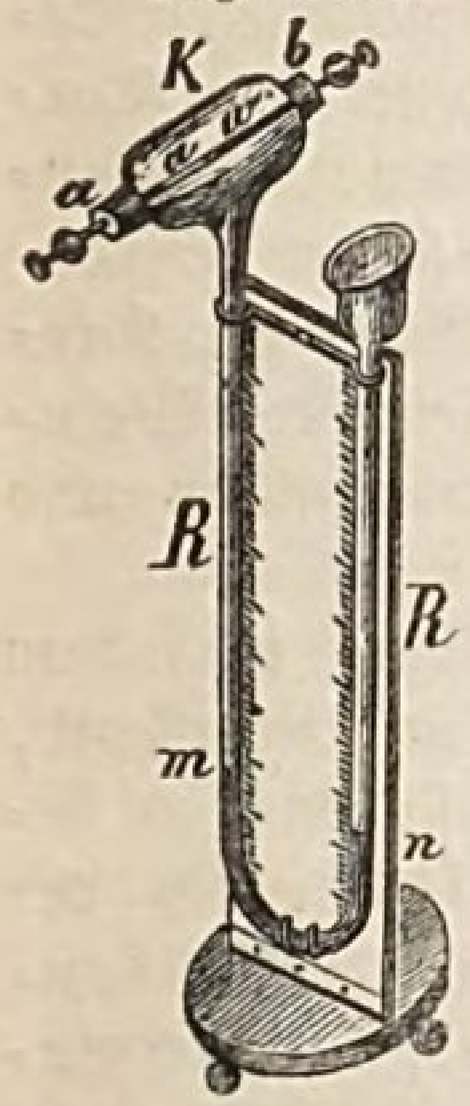


Eine recht entsprechende und bequeme Anordnung des Apparates zeigt Fig. 507, wo A eine messingene Schale bedeutet, worin mittelst einer untergestellten Weingeistlampe Wasser sieden gemacht wird, und in welcher die eine Seite der Säule S steht, deren Metallhülle h oben eine trichterförmige Erweiterung B zur Aufnahme des Eises, kalten Wassers u. s. w. trägt, und welche bei w ihr Wismuth- und bei a ihr Antimonende hat.

Die Ströme, welche sich nach Pouillet, Reich und Henrici beim Ablöschen von Metallen z. B. von Platin in tropfbaren Flüssigkeiten an einem Galvanometer zeigen, das mit dem erhitzten Metall und der Flüssigkeit den Kreis schließt, sind nicht thermoelektrischer Natur, sondern haben ohne Zweifel ihren Grund in der Reibung des eingeschobenen heißen Metalls an den Theilchen der Flüssigkeit, welche durch die ihr mitgetheilte Wärme in eine innere Bewegung versetzt wird.

So wie durch Erwärmung oder Erkaltung der Löthstelle zweier verschiedener Metalle ein elektrischer Strom erzeugt wird, so entsteht, nach Peltier's Entdeckung, umgekehrt an der besagten Löthstelle, wenn durch die zusammengelötheten Metalle ein Volta'scher Strom geleitet wird, Erwärmung oder Erkaltung, jenachdem die Richtung dieses Stromes entgegengesetzt oder einerlei ist mit der Richtung jenes thermoelektrischen Stromes, der durch Erwärmen der betreffenden Löthstelle entstünde. Es geht hieraus hervor, daß ein hydroelektrischer Strom, der einen aus zwei verschiedenen Metallen zusammengesetzten Bogen durchzieht, in diesem immer einen thermoelektrischen Strom entgegengesetzter Richtung hervorruft. Am auffallendsten zeigt sich dieses Phänomen an einer Verbindung von Wismuth und Antimon und man kann dasselbe leicht mittelst der in Fig. 508 abgebildeten Vorrichtung nachweisen. Das etwa $3/4''$ weite Glasgefäß k schließt zwei an einander gelöthete Stäbchen aus Wismuth w und Antimon a ein, welche $1-1\frac{1}{2}'''$ dick und in den Kugelhälsen a, b luftdicht so eingekittet sind, daß die Löthstelle die Mitte von k einnimmt. Die gebogene, einerseits in das Gefäß k einmündende und andererseits offene (und trichterförmig erweiterte) enge Röhre R enthält unten an der Krümmung eine kleine Säule mn gefärbten Weingeistes, übrigens so wie das Gefäß k Luft. Werden die aus den Gefäßhälsen hervorragenden Metallenden mit den Polen einer auch nur schwachen Volta'schen Kette leitend verbunden, so sinkt oder steigt (zu Folge Ausdehnung oder Zusammenziehung der Luft in dem Apparate) die Weingeistoberfläche m, jenachdem der Draht vom positiven Pol mit dem Antimon oder mit dem Wismuth vereinigt worden.

Fig. 508.



264. Beziehung der thermoelektrischen Ströme zum Erdmagnetismus. Am Schlusse des Absatzes **184** wurde der Satz ausgesprochen, daß die jährlichen und täglichen (die periodischen) Variationen des Erdmagnetismus in einem innigen Zusammenhange mit der Sonnenwärme stehen und vielleicht einzig und allein durch diese erzeugt werden; zugleich wurde beigesetzt, daß zur Lösung der Frage: „Wie verursacht die Sonnenwärme diese Variationen?" die Elektrizitätslehre einiges Materiale liefern werde. Nach dem über Thermoelektrizität nun Vorgetragenen sieht man ein, daß in der Erde, in welcher die in Berührung stehenden, ungleichartigen, metallischen und anderen Leiter zahllose thermoelektrische Ketten bilden, durch die Sonne, die stets nur einen und in den verschiedenen Jahres- und Tageszeiten immer einen andern Theil der Erde und in einem anderen Maße erwärmt, Thermo-Ströme verschiedener Richtung und Stärke hervorgerufen werden, und daß diese Ströme vermöge ihrer magnetischen Kraft wesentlich Einfluß auf den Erdmagnetismus nehmen und Variationen in der Aeußerung desselben

bedingen müssen. Barlow und Ampère betrachten (wie schon in **186** und **243** angedeutet worden) den gesammten Erdmagnetismus als die magnetische Wirkung Volta'scher Ströme, welche aus dem in der Erdrinde überall vorhandenen (durch den eben erwähnten Contact zahlloser ungleichartiger Leiter gebildeten) Volta'scher Ketten entspringen und die Erde von Ost nach West continuirlich umkreisen.

265. Pyroelektrizität. Viele natürlich vorkommende und auch viele durch Kunst erzeugte Krystalle werden durch Erwärmen elektrisch, so daß sie an gewissen Stellen entgegengesetzte Elektrizitäten zeigen, und daß diese Stellen (die Pole) beim Erkalten des Krystalls die Elektrizität wechseln. Nach den bisherigen Erfahrungen scheinen nur Krystalle mit an den Axenenden unsymmetrisch angeordneten Flächen dieses sogenannten pyroelektrischen Zustandes fähig zu sein, und es tritt derselbe besonders deutlich an durchsichtigen, hellgefärbten und innerlich reinen Turmalinen hervor, wenn ein solcher Krystall, am besten von nelkenbrauner, grüner oder rosenrother Farbe, in der Mitte mit einer Zange gefaßt, etwas über 25° R. gleichmäßig erwärmt und nachher das eine oder andere Ende desselben an den Collector eines empfindlichen (Bohnenberger'schen) Elektroskopes gehalten wird. Man findet so an demselben zwei entgegengesetzte Pole (an jedem Ende einen), und zerbricht man nachher den Krystall, so zeigt jedes einzelne Stück für sich Polarität, und die Elektrizitäten an den von einander getrennten Bruchflächen sind entgegengesetzt. Bei Krystallen mit mehreren Axen von oben bezeichneter Beschaffenheit erscheinen auch mehr als zwei pyroelektrische Pole. Außer dem Turmalin zeigen sich unter den allgemeiner bekannten natürlich vorkommenden Krystallen auch Kalkspath, Schwerspath, Topas, Bergkrystall, schwefelsaurer Strontian, kohlensaures Blei, Flußspath (rother und blauer), Boracit, Amethyst, Granat, Diamant u. s. w., und unter künstlich gebildeten Krystallen jene der Weinsteinsäure, des Zuckers, des schwefelsauren Eisens, Bleizuckers, kohlensauren und weinsauren Kali ꝛc. ꝛc. pyroelektrisch.

266. Leitungswiderstand. Der elektrische Strom erfährt in jedem Theile seiner Leitung (des Weges, den er durchläuft) einen gewissen Widerstand, dessen Größe von der materiellen Beschaffenheit, von den Dimensionen des betreffenden Leitungstheiles und auch von dessen Temperatur abhängt. Dies beweist der Umstand, daß ein in den Schließungskreis einer Volta'schen Kette von völlig konstanter Stromstärke (und in dieser Beziehung empfehlen sich vorzüglich thermoelektrische Ketten, bei welchen der Strom so lange unveränderlich stark ist, als die denselben erzeugende Temperatur-Differenz konstant erhalten wird) eingeschaltetes Galvanometer sogleich eine Zu- oder Abnahme der Stromstärke anzeigt, jenachdem man Theile der Stromleitung aus dem Schließungskreise wegnimmt oder in denselben neue einschaltet, und daß die Aenderung in der Stromstärke je nach der Natur, den Dimensionen und der Temperatur der weggenommenen oder neu eingeschalteten Leiter verschieden groß ist. Die Summe der in allen Theilen des Stromkreises einer Volta'schen Kette auftretenden Widerstände macht den sogenannten Leitungswiderstand der Kette aus.

Um solche Gesammtwiderstände geschlossener Ketten oder die einzelnen Widerstände in den verschiedenen Theilen der letzteren (in den Elektromotoren, den festen und flüssigen Leitern und in den porösen Scheidewänden oder Diaphragmen) messen und der Größe nach unter einander vergleichen zu können, bedarf es einer passenden Maßeinheit, und als solche wird gewöhnlich der Widerstand in einem Kupferdrahte angenommen, der 1 Meter Länge, 1 Millimeter Durchmesser (also 0·785 □ Millimeter Querschnitt) und überall eine gleiche Dicke hat. Wir wollen einen Kupferdraht von der besagten Dicke künftig Kürze halber Normaldraht nennen.

Da kein Draht überall eine ganz gleiche Dicke hat, aber auch kleine Verschiedenheiten im Durchmesser bedeutende Unterschiede der Widerstände zur Folge haben, so ist es zweckmäßiger, einen Draht, der bei gegebener Länge ein bestimmtes Gewicht hat, als Maßeinheit des Widerstandes zu wählen.

Denkt man sich nun, jedes Glied des Stromkreises einer Volta'schen Kette werde durch einen Draht ersetzt, der dieselbe materielle Beschaffenheit und Dicke wie der Normaldraht und eine solche Länge besitzt, daß er dem Strome einen gleichen Widerstand, wie das durch ihn ersetzte Glied leistet; so stellt — unter der Voraussetzung (deren Richtigkeit aus Späterem erhellen wird), der Widerstand in einem Metalldrahte sei unter übrigens gleichen Umständen dessen Länge proportional — die Zahl, welche die Länge des Ersatzdrahtes in Metern angibt, das Maß des Widerstandes in dem betreffenden, durch diesen Draht ersetzten Gliede dar, und die Summe der die Länge aller einzelnen Ersatzdrähte bezeichnenden Zahlen ist das Maß des Widerstandes im gesammten Stromkreise der Kette*). Man nennt den in eben erklärter Weise durch eine bestimmte Länge des Normaldrahtes ausgedrückten Widerstand den reducirten Leitungswiderstand und die betreffende Drahtlänge selbst die reducirte Länge . . . (140)

267. Das Ohm'sche Gesetz. Ohm hat für den Zusammenhang zwischen der Stromstärke **S**, der gesammten elektromotorischen Kraft **E** (d. i. der den Strom erregenden Ursache) einer Kette und dem (reducirten) Leistungswiderstande **W** im ganzen Stromkreise derselben den einfachen Ausdruck $S = \frac{E}{W}$ . . . (141) festgestellt, welcher daher das Ohm'sche Gesetz heißt. Es folgt derselbe aus dem Ausdrucke $E = WS$, der seine Begründung schon in der offenbar ganz naturgemäßen Annahme findet, daß die Ursache eines elektrischen Stromes, die elektromotorische Kraft, in demselben Verhältnisse mächtiger sei, in welchem sie bei bestimmtem Leitungswiderstande einen stärkeren Strom erzeugt, und in welchem der Leitungswiderstand, bei dem sie einen Strom von bestimmter Stärke zu liefern vermag, größer sein kann. Uebrigens läßt sich das Ohm'sche Gesetz auch sehr leicht experimentell beweisen, und der Beweis zerfällt in zwei Theile.

1. Theil des Beweises: Bei gleicher elektromotorischer Kraft ist die Stromstärke dem reducirten Gesammtwiderstande verkehrt proportional . . . (I). Um dies darzuthun, leite man den Strom eines konstanten (etwa Bunsen'schen) Elementes zuerst blos durch die Tangentenbussole, dann aber der Reihe nach durch in den Stromkreis eingeschaltete, verschieden, z. B. m_1, m_2, m_3 und m_4 Meter lange Stücke des Normaldrahtes**), beobachte in allen diesen Fällen die Ablenkungswinkel der Bussolennadel und suche die diesen Winkeln entsprechenden Tangenten. Angenommen, die Werthe der letzteren wären der Reihenfolge nach a_1, a_2, a_3, a_4 und a_5, so repräsentiren diese Werthe die respektiven Stromstärken, während, wenn x den reducirten Leitungswiderstand im Elemente und in den verschiedenen Theilen der Bussole bedeutet (und wir wollen diese Wider-

*) Hier muß als Ergebniß der Erfahrung angeführt werden, daß, wenn bei einer bestimmten Beschaffenheit der Stromquelle und des Stromkreises einem Leiter des letzteren, unbeschadet der Stromstärke, sich ein anderer Leiter substituiren läßt (ersterem also äquivalent ist) diese Aequivalenz nur in so ferne unbedingt auch für jede andere Beschaffenheit der Stromquelle und des Stromkreises gelte, als beide Leiter fest, namentlich metallisch sind, im Stromkreise blos an feste Leiter grenzen und keine Temperaturveränderung erfahren.

**) Um das Einschalten längerer Drähte in bequemer und entsprechender Weise bewerkstelligen zu können, hat man eigene Apparate nöthig, welche Rheostate, auch Agometer oder Voltagometer heißen, aber erst in einem der nächstfolgenden Absätze weiter besprochen werden können.

stände zusammen den Widerstand des Elementes heißen) die Größen x, $x+m_1$, $x+m_2$, $x+m_3$, $x+m_4$ die reducirten Leitungswiderstände immer des gesammten Stromkreises in allen fünf gedachten Fällen darstellen. Ist nun der obige Satz (I) wahr, so müssen die Proportionen:

$a_1 : a_2 = x + m_1 : x$; $a_1 : a_3 = x + m_2 : x$; $a_1 : a_4 = x + m_3 : x$ u. s. w.

gelten; man muß daher aus allen diesen Proportionen für x den nämlichen Werth erhalten, und es müssen, wenn dieser Werth, der $= w$ gefunden worden sein soll, oben anstatt x gesetzt wird, die Zahlen a_1, a_2, a_3, a_4 und a_5 sich umgekehrt, wie die Zahlen w, $w+m_1$, $w+m_2$, $w+m_3$ und $w+m_4$ verhalten, was bei speziellen Versuchen auch wirklich eintrifft.

Beispiel. Bei einem von Pouillet angestellten Versuche betrugen die in den Stromkreis eines blos durch die Tangentenbussole geschlossenen konstanten Elementes successive eingeschalteten Kupferdraht-Längen 0, 5, 10, 40, 70 und 100 Meter, die respektiven Ablenkungswinkel wurden = 62·00, 40·20, 28·30, 9·45, 6·00, und 4·15 Grade beobachtet; ihre Tangenten sind 1·880, 0·849, 0·543, 0·172, 0·105 und 0·074. Für x ergaben sich aus den einzelnen vorerwähnten Proportionen die Werthe: 4·11, 4·06, 4·03, 4·14, 4·09 Meter, deren Mittelwerth 4·08 ist. Es sind daher 4·08, 4·08 + 5, 4·08 + 10, 4·08 + 40, 4·08 + 70 und 4·08 + 100 Meter die Werthe der reducirten Leitungswiderstände, welche sich bis auf so kleine Differenzen umgekehrt wie die Tangenten 1·880, 0·849, 0·543, 0·172, 0·105 und 0·074 verhalten, daß die Richtigkeit des obigen Satzes (I) nicht bezweifelt werden kann.

2. Theil des Beweises: Bei gleichem Gesammtleitungswiderstande ist die Stromstärke der elektromotorischen Kraft proportional . . . (II). Dieser Satz ergibt sich aus in folgender Art anzustellenden Versuchen. Man schließe ein konstant wirkendes Volta'sches Element durch die Tangentenbussole und durch ein Stück des Normaldrahtes von der Länge l, messe den Ablenkungswinkel a der Bussolennadel, und bestimme nun den reducirten Leitungswiderstand r des Elementes. Zu diesem Behufe schalte man in den Stromkreis noch eine solche Länge l_1 des besagten Drahtes ein, daß die Stromstärke genau auf die Hälfte herabsinkt und ziehe dann von l_1 (was dem Satze I zu Folge den vorigen Gesammtwiderstand verdoppelt hat, also selbst das Maß dieses Widerstandes ist) die Drahtlänge l ab. Die Differenz $l_1 - l$ ist offenbar der Widerstand des Elementes. Bringt man nun in den Stromkreis hinter dem ersten Elemente ein zweites gleich starkes Element an, dessen Widerstand in eben angegebener Weise bestimmt und $= l_2$ gefunden worden sein soll, nimmt dann aus dem Stromkreise eine Drahtlänge $= l_2$ heraus (um den Gesammtwiderstand auf seine vorige Größe zurück zu führen); so steigt die durch Einschaltung des Drahtes l_1 auf die Hälfte herabgesetzte Stromstärke wieder auf ihre frühere Größe. Es erzeugt demnach die durch Anwendung des zweiten Elementes verdoppelte elektromotorische Kraft auch die doppelte Stromintensität.

268. Leitungswiderstand eines Metalldrahtes. Um den Leitungswiderstand eines Metalldrahtes zu bestimmen, schaltet man diesen in den Stromkreis einer konstanten Kette ein (jedoch gemäß Anmerkung *) auf S. 597 so, daß er nur wieder mit Metall in Berührung tritt), beobachtet den Stand der Nadel eines ebenfalls im Stromkreise befindlichen Rheoskopes (S. 445), entfernt hierauf diesen Draht aus der Kette und bringt an seine Stelle so viel vom Normaldrahte, daß die Nadel wieder genau den vorigen Stand annimmt. Die Länge des eingeschalteten Normaldrahtstückes stellt den gesuchten Widerstand dar. Daß man auf gleiche Weise den Widerstand jedes in einer Kette zwischen festen Leitern enthaltenen festen Körpers bestimmen könne, ist für sich klar.

Der Leitungswiderstand eines Metalldrahtes ist seiner Länge direkt und dem Flächeninhalte seines Querschnittes umgekehrt proportional. Dies wird dadurch bewiesen, daß die Größe, um welche die Stromstärke eines konstanten Elementes bei Einschaltung eines Drahtes

in den Stromkreis abnimmt, auf das Zweifache, Dreifache u. s. w. steigt, wenn der besagte Draht durch einen zweimal, dreimal u. s. w. längeren der nämlichen Dicke und Beschaffenheit ersetzt wird; die ursprüngliche Stromstärke aber unverändert bleibt, wenn der zweimal, dreimal u. s. w. längere Ersatzdraht auch einen zweimal, dreimal u. s. w. größeren Querschnitt hat. Der Widerstand eines Drahtes bleibt daher unverändert, wenn Länge und Querschnitt des letzteren in dem nämlichen Verhältnisse zu- oder abnehmen . . . (††). Nimmt man nun, wie es in **266** geschah, eine bestimmte Länge und einen bestimmten Querschnitt eines Drahtes als Längen- und als Querschnittseinheit an, so ist [(140) S. 567] für einen andern Draht derselben materiellen Beschaffenheit die reducirte Länge $r = \frac{l}{q}$, wenn für diesen Draht l die Länge und q den Querschnitt (durch die eben besagten Einheiten gemessen) darstellen. Enthält daher eine Kette mehrere Drähte oder andere ähnliche metallische Leiter aus demselben Stoffe, aber von ungleichen Dimensionen, so ist deren reducirter Gesammtwiderstand $R = \frac{l}{q} + \frac{l_1}{q_1} + \frac{l_2}{q_2} + \ldots$, wenn $l, l_1, l_2 \ldots$ die Längen und $q, q_1, q_2 \ldots$ die Querschnitte dieser Leiter bedeuten . . (142)

269. Abhängigkeit des Leitungswiderstandes eines Metalldrahtes (oder eines andern festen Leiters) von seinem spezifischen Leitvermögen. Bestimmung des letzteren. Der Widerstand, den ein Draht einem elektrischen Strome leistet, hängt nicht blos von seinen Dimensionen (Länge und Querschnitt), sondern auch von dem in seiner materiellen Beschaffenheit begründeten, eigenthümlichen (spezifischen) Leitvermögen ab. Dies beweist die Aenderung, die in der Stromstärke einer konstanten Kette augenblicklich eintritt, sobald man in deren Leitungskreise einem Drahte einen andern substituirt, der die nämlichen Dimensionen wie der erstere besitzt, aber materiell von demselben verschieden ist.

Zur Ermittlung des Verhältnisses, in welchem bezüglich des spezifischen Leitvermögens die verschiedenen Metalle z. B. Kupfer und Silber unter einander stehen, wurde in den nur metallischen Schließungskreis einer konstanten Kette ein Stück Kupferdrahtes von bestimmter Länge **L** und Dicke d eingeschaltet und die der Stromstärke entsprechende Ablenkung der Nadel eines an einem anderen Orte in den Stromkreis eingeschalteten Galvanometers beobachtet. Hierauf wurde das Kupferdrahtstück aus dem Schließungskreise wieder entfernt und an dessen Stelle ein Silberdrahtstück von solcher Länge L_1 eingeschaltet *), daß die Galvanometernadel wieder die vorige Stromstärke zeigte. Wurde nun, nach Satz (142) der Silberdraht auf gleichen Querschnitt mit dem Kupferdrahte reducirt d. h. die Länge L_2 ermittelt, bei welcher der Silberdraht vom reducirten Querschnitte den nämlichen Widerstand leistet, wie früher; so verhalten sich die Leitkräfte des dem Versuche unterworfenen Kupfers und Silbers wie $L : L_2$ oder wie $1 : \frac{L_2}{L}$, indem von zwei Drähten verschiedener materiellen Beschaffenheit, aber gleichem Querschnitte, offenbar jener $\frac{L_2}{L}$ mal fähiger sein muß, die Elektrizität zu leiten, welcher bei $\frac{L_2}{L}$ mal größerer Länge den nämlichen Widerstand leistet, wie der andere.

Die folgende Tabelle enthält für die wichtigsten Metalle die Verhältnißzahlen

---

*) Diese Einschaltungen lassen sich leicht mittelst zweier Schraubenklemmen bewerkstelligen, die nach Art jener in Fig. 487 mit 1, 2 bezeichneten, an den Enden des irgendwo durchschnittenen Schließungsdrahtes der Kette festgemacht und in welche auch die Enden des einzuschaltenden Drahtes eingeklemmt werden.

der spezifischen Leitkräfte (und der diesen letzteren umgekehrt proportionalen) eigenthümlichen Leitungswiderstände. Die Zahlen in den „nach Rieß" überschriebenen Rubriken ergaben sich aus Versuchen über die Leitung des Entladungsstromes einer Flaschenbatterie, während jene der übrigen Rubriken für die Leitung Volta'scher Ströme gefunden wurden.

Metall.	Leitkraft					Leitungswiderstand	
	nach Lenz		nach Becquerel		nach Rieß	nach Becquerel	nach Rieß
	bei 0°	bei 100°C	bei 0°	bei 100°C			
Kupfer	100·00	73·00	100·0	70·9	100·0	1·00	1·00
Silber	136·25	94·45	109·3	77·9	148·7	0·95	0·67
Gold	79·79	65·20	71·0	52·6	88·9	1·38	1·13
Zink	—	—	26·2	19·2	—	3·69	—
Zinn	30·84	20·44	15·3	9·4	14·7	6·52	6·80
Eisen	17·74	10·87	13·5	9·2	17·7	7·44	5·66
Platin	14·16	10·93	8·6	7·3	15·5	11·08	6·44
Blei	14·62	9·61	9·0	6·3	10·3	10·86	9·70
Packfong	—	—	—	—	8·9	—	11·29
Messing	29·33	24·78	—	—	27·7	—	3·61
Nickel	—	—	—	—	13·2	—	7·69
Cadmium	—	—	26·8	19·1	38·4	3·62	2·61
Palladium	—	—	—	—	18·2	6·63	5·49
Quecksilber . . .	—	—	1·9	1·7	—	49·49	—

Die spezifische Leitkraft des Antimons ist 8·87, jene des Wismuths 2·58 (die Leitkraft des Kupfers wieder 100 gesetzt).

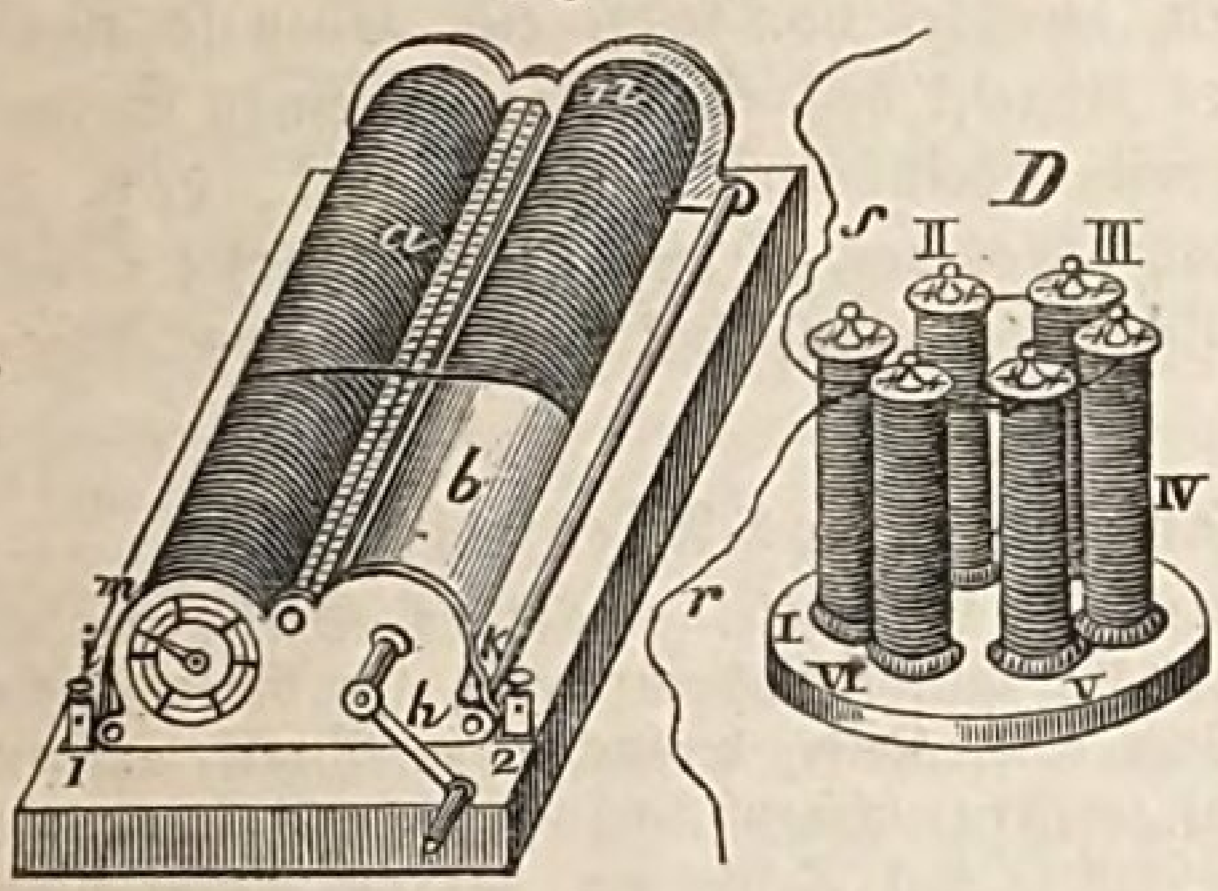
Man sieht aus dieser Tabelle zugleich, daß die Leitkraft der Metalle auch von der Temperatur abhänge und abnimmt, wenn diese wächst.

Der spezifische Leitungswiderstand ist bei Berechnung der reducirten Länge eines metallischen Leiters wohl in Betracht zu ziehen; es muß nämlich, wenn der betreffende Leiter aus einem andern Metalle als Kupfer (dessen Widerstand als Maßeinheit der eigenthümlichen Widerstände angenommen wird) besteht, der Quotient $\frac{1}{q}$ [(142) S. 569], der sich aus der Division der wirklichen Länge dieses Leiters durch seinen wirklichen Querschnitt ergibt, noch mit der Zahl, welche anzeigt, wie vielmal größer oder kleiner der Leitungswiderstand des Materials des Leiters als jener des Kupfers unter sonst gleichen Umständen ist, d. h. mit dem eigenthümlichen Leitungswiderstande dieses Materials multiplizirt werden. Denn $\frac{1}{q} = r$ stellt die in Metern ausgedrückte Länge eines mit dem Normaldrahte **266** einen gleichen Querschnitt besitzenden Kupferdrahtes dar, welcher dem fraglichen Leiter äquivalent wäre, wenn dieser ebenfalls aus Kupfer bestünde. Besteht dieser hingegen aus einem andern Metalle z. B. Packfong, welches unter übrigens gleichen Verhältnissen der Elektrizität einen 11·29mal größeren Widerstand leistet als Kupfer; so muß offenbar der dem Packfongleiter äquivalent sein sollende Kupferdraht vom Normalquerschnitte eine 11·29mal größere Länge haben, als wenn dieser Leiter aus Kupfer bestünde, die wahre reducirte Länge desselben daher $11·29 \times \frac{1}{q}$ sein.

270. Rheostat (Agometer, Voltagometer). Es ist dies, (S. 567) ein Apparat, welcher in bequemer Weise gestattet, Leitungswiderstände verschiedener Größe in den Stromkreis einzuschalten, und diese Widerstände innerhalb aller erforderlichen Grenzen allmälig und leicht abzuändern. Man kann so natürlich die ursprüngliche Stromstärke auf jede bestimmte Größe herabbringen und dabei erhal-

ten; daher auch der Name Rheostat. Unter den verschiedenen bisher erdachten Instrumenten dieser Art empfiehlt sich durch Einfachheit und Bequemlichkeit vorzüglich Wheatstone's Rheostat, der in nebenstehender Fig. 509 abgebildet ist. a ist ein Cylinder von Holz und b einer von Messing, beide von gleicher Länge (6 engl. Zoll) und gleichem Durchmesser (1½″) und mit ihren Axen einander parallel. Auf dem Holzcylinder ist seiner ganzen Länge nach ein Schraubengewinde eingeschnitten, so daß auf 1″ Länge 40 Schraubengänge gehen, und an den einen seiner Enden trägt er eine Messingscheibe m, an welcher das eine Ende eines langen und nur 0·01 Zoll dicken Messingdrahtes befestigt ist, welcher so um den Holzcylinder herumgeht, daß er alle Gänge des Schraubengewindes füllt und dann mit seinem zweiten Ende an dem Ende n des Messingcylinders b festgemacht ist. Zwei Federn i, k, von denen die eine gegen die Messingscheibe m und die andere gegen das eine Ende des Messingcylinders b drückt, sind mit zwei Klemmschrauben 1, 2 vereinigt, welche die Polardrähte der Kette (der Stromquelle) aufnehmen. Die abnehmbare Handhabe h dient zum Drehen der Cylinder um ihre Axen. Steckt man die Handhabe auf die Axe des Cylinders b und dreht nach rechts, so wird der Draht vom Holzcylinder ab- und auf dem Messingcylinder aufgewickelt; steckt man sie dagegen auf die Axe von a und dreht nach links, so wird der Draht vom Messingcylinder ab- und auf den Holzcylinder aufgewickelt. Da die Drahtwindungen auf dem Holzcylinder isolirt und durch die Schraubengänge von einander getrennt erhalten werden, so durchläuft der Strom den Draht auf diesem Cylinder seiner ganzen Länge nach, hingegen auf dem Messingcylinder, wo die Drahtwindungen durch diesen Cylinder selbst unter einander in leitender Verbindung stehen, geht der Strom sogleich von dem Punkte, wo der Draht den Cylinder berührt, zu der Feder k. Es ist also immer nur das Stück des ganzen Drahtes wirksam, welches auf dem Holzcylinder aufgewickelt und in der Länge veränderlich ist. Ein auf der Axe des Cylinders a festgemachter Zeiger zählt auf der getheilten Scheibe m die abgewickelten Drahtwindungen und die Bruchtheile derselben.

Fig. 509.



Für die Fälle, wo es sich um größere neu einzuschaltende Widerstände handelt, als der ganze auf dem Holzcylinder aufgewickelte Draht erzeugen kann, werden zu dem Rheostat noch die bei D abgebildeten 6 Widerstandsrollen, welche mit Seide übersponnenen Kupferdraht von $^1/_{100}$ Zoll Durchmesser enthalten, zu Hilfe genommen. Beide Vorrichtungen, entsprechend combinirt, gestatten Widerstände von jedem (genau bestimmbaren) Betrage in die Kette einzuschalten. Von zwei dieser Rollen enthält jede 50 Fuß Draht, die dritte enthält 100, die vierte 200, die fünfte 400 und die sechste 800 Fuß. Die beiden Enden des Drahtes jeder Rolle sind an kurzen, dicken, aus der obern Holzscheibe der Rolle hervorstehenden Drähten befestigt, die dazu dienen, die Drähte aller Rollen zu einem einzigen Draht zu vereinigen. Die beiden Drähte r, s bilden dann die Enden dieses Drahtes und dienen zu seiner Verbindung mit der Kette. Auf jeder obern Holzscheibe ist eine doppelte Messingfeder, um ein Centrum beweglich, vorhanden, so daß ihre Enden nach Belieben entweder auf die Enden der besagten dicken Verbindungsdrähte gebracht, oder von ihnen entfernt und blos auf das Holz geschoben werden können. Bei der letzteren Stellung muß der Strom durch die Drahtrolle gehen; bei der ersteren hingegen geht er durch die Feder und schließt den ganzen Widerstand der Drahtrolle

von der Kette aus. Wenn sämmtliche Federn auf den dicken Verbindungsdrähten ruhen, ist der Widerstand aller Drahtrollen entfernt; dreht man aber die Federn gehörig, so kann man jedes Vielfache von 50 Fuß bis zu 1600 Fuß in Kette bringen.

Daß man, wenn die Größe des erforderlichen Widerstandes es erheischt, noch mehrere Widerstandsrollen anwenden kann, leuchtet von selbst ein. Eben so ist für sich klar, wie nach **268** und **269** jeder mittelst des Rheostats in einen Stromkreis eingeschaltete Widerstand auf Widerstandseinheiten zurückgeführt, d. h. die Anzahl Meter des Normaldrahtes (Kupferdrahtes von 0·785 □ Millimeter Querschnitt) ermittelt wird, welche an Widerstand der eingeschalteten Länge des Rheostatdrahtes äquivalent ist.

Einige wichtigere Anwendungen des Rheostats.

1. Bestimmung des Widerstandes des Drahtes eines Galvanometers. Man schließe ein constantes Element, das fragliche Galvanometer, den Rheostat und ein Rheoskop (oder ein zweites Galvanometer) zu einer Kette, beobachte den Punkt, auf welchem die Nadel des Rheoskopes zu stehen kommt, entferne hierauf das fragliche Galvanometer aus der Kette und schalte nun mittelst des Rheostats so viel Draht ein, daß die Nadel wieder auf den nämlichen Punkt kömmt. Die Anzahl Widerstandseinheiten, die der eingeschalteten Rheostatdrahtlänge entspricht, ist das Maß des gesuchten Widerstandes. Daß der Widerstand jedes andern Drahtes oder festen Leiters auf demselben Wege erhalten werde, versteht sich selbst.

2. Bestimmung des Widerstandes einer Stromquelle. Die einfachste von Fechner, Lenz, Pouillet u. A. angewandte Methode der Lösung dieser Aufgabe besteht darin, daß man die Stromstärke der Kette zuerst ohne einen in die Kette eingeschalteten äußeren Widerstand und dann nach Einschaltung eines solchen Widerstandes von bekannter Größe w beobachtet. Sind S und S_1 die (mit einer Tangentenbussole oder einem andern geeigneten Galvanometer gemessenen und nach Anmerkung auf S. 461 auf Stromeinheiten reducirten) Stromstärken im ersten und zweiten Falle, ist ferner E die elektromotorische Kraft und W der Widerstand in der Kette; so hat man gemäß (141) offenbar $S=\frac{E}{W}$ und $S_1=\frac{E}{W+w}$ also $\frac{S}{S_1}=\frac{W+w}{W}$, woraus sich, da alle übrigen Größen bekannt sind, der Werth von

$$W=\frac{S_1}{S-S_1}\cdot w \text{ ergibt.} \qquad (143)$$

Diese Methode setzt aber die unmittelbare Bestimmung der Stromstärke durch ein geeignetes Galvanometer voraus. Ohne einer solchen Bestimmung zu bedürfen, gelangt man zur Ermittlung des Widerstandes einer Stromquelle auf folgendem Wege. Man bringe ein Galvanometer (eigentlich blos ein Rheoskop) und den Rheostat in die Kette, und adjustire den letzteren so, daß die Galvanometernadel auf einen bestimmten Punkt zu stehen kommt. Nun theile man den durch den Galvanometerdraht gehenden Strom, indem man daneben einen dem Widerstand dieses Drahtes gleichen Widerstand in die Kette einschaltet. Die Galvanometernadel wird jetzt zurückweichen. Die auf Widerstandseinheiten reducirte Länge λ des Rheostatdrahtes, welche nun aus der Kette herausgebracht werden muß, damit die Nadel auf ihren früheren Punkt zurückkehrt, ist gleich der Hälfte des gesammten Widerstandes W in dem unverzweigten Stück der ursprünglichen Kette . . . . (†). Wenn also die Widerstände des Galvanometerdrahtes, der Verbindungsdrähte und der eingeschalteten Rheostatwindungen zuvor ermittelt worden sind, so ergibt sich der Widerstand des Rheomotors, indem man die eben besagten Widerstände von dem Gesammtwiderstande der Kette abzieht, welcher offenbar $2\lambda+g$ ist, wenn g den Widerstand des Galvanometerdrahtes bezeichnet und λ die oben besagte Bedeutung hat. Daß aber der unter (†) angeführte Satz, nämlich daß $\lambda=\frac{W}{2}$ ist, richtig sei, ergibt sich aus dem Folgenden. Bedeutet E die elektromotorische der Kette, so ist, gemäß (141) vor der Theilung des Stromes des letzteren Stärke $S=\frac{E}{W+g}$ . . . . (1). Neben dem Galvanometerdrahte einen zweiten gleichen Widerstand hinzufügen, heißt: für ersteren einen Draht von doppeltem Querschnit nehmen, mithin, gemäß **268**, den Widerstand des Galvanometerdrahtes auf die Hälfte herabsetzen, so daß also der Gesammtwiderstand der Kette $W+\frac{1}{2}g$ ist. Da aber vermöge der Theilung des Stromes nur die eine Hälfte des letzteren auf die Nadel wirkt, so kann diese Wirkung durch $\frac{\frac{1}{2}E}{W+\frac{1}{2}g}$ . . (2) vorgestellt werden. Um diesen Ausdruck (2) jenem

unter (1) gleich zu machen, muß der Widerstand W halbirt werden, da $\frac{E}{W+g} = \frac{\frac{1}{2}E}{\frac{1}{2}W+\frac{1}{2}g}$ ist. Der zu dieser Halbirung aus der Kette fortzuschaffende Widerstand λ ist aber offenbar gleich der Hälfte des Widerstandes W des unverzweigten Stückes der ursprünglichen Kette: denn, wenn $\frac{E}{W+g} = \frac{\frac{1}{2}E}{W+\frac{1}{2}g-\lambda}$ ist, so ist $\lambda = \frac{W}{2}$, was zu erweisen war.

3. Verfahren, die Beziehungen zwischen den Ablenkungswinkeln einer Rheoskopnadel und den diesen Winkeln entsprechenden Stromstärken zu bestimmen. (Man sehe (136) auf S. 448.) Wenn die elektromotorische Kraft einer Kette constant bleibt, so ist, gemäß (I) S. 567 die Stromstärke dem Widerstande oder der reducirten Länge der Kette umgekehrt proportional. Hat man demnach bei einer Ablenkung von 1^0 den gesammten Widerstand W der Kette (nach dem unmittelbar vorhergegangenen 2. Absatze) bestimmt und verringert darauf mittelst des Rheostats und der Widerstandsrollen den Widerstand successive auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ u. s. w.; so sind die entsprechenden Stromstärken 2, 3, 4, 5 u. s. w. und man braucht nur die bei diesen Stromstärken sich zeigenden Nadelstände zu notiren. Umgekehrt, hat man ermittelt, welche reducirte Längen a, b, c, d u. s. w. aus der Kette entfernt werden müssen, damit die Nadelablenkung von irgend einem Grade, um einen Grad steige, so sind die diesen Graden entsprechenden Kräfte: $\frac{1}{W}, \frac{1}{W-a}, \frac{1}{W-(a+b)}, \frac{1}{W-(a+b+c)}$ u. s. w. Dieses Wheatstone'sche Verfahren ist die einfachste aller bisher bekannt gewordenen Methoden empirischer Graduirung der Multiplikatioren oder Rheoskope.

4. Bestimmung der elektromotorischen Kraft einer Kette. Hat man nach dem vorhergehenden 2. Absatze mittelst der Formel (143) den Gesammtwiderstand W der Kette bestimmt, so braucht man nur, da gemäß (141), $S = \frac{E}{W}$ also $E = SW$ ist, mit diesem Widerstande die durch ein geeignetes Galvanometer gemessene, (nach dem Inhalte der Anmerkung auf S. 461 in Stromstärke-Einheiten ausgedrückte) Stromstärke S zu multipliziren, um die elektromotorische Kraft E zu erhalten. Auf diesem Wege wurde bei einem Zinkkohlen- (Bunsen'sche) Elemente von Deleuil (S. 467) für die elektromotorische Kraft der Werth 839, bei dem Zinkkohlen-Elemente von Stöhrer der Werth 777, bei einem Grove'schen Elemente der Werth 829, bei einem Daniell'schen Elemente 470 und bei einem Smee'schen Elemente 210 gefunden. Es ist hier zum Maße der elektromotorischen Kraft die (in Stromstärke-Einheiten ausgedrückte) Stromstärke (s) genommen, welche die Kette besitzen würde, wenn ihr Gesammtleitungswiderstand = 1. d. h. dem Widerstande eines 1 Meter langen und $1^{m.m}$ dicken Kupferdrahtes (d. i. der Widerstands-Einheit) gleich wäre. Daß aber diese Stromstärke s gleich sei der elektromotorischen Kraft, ergibt sich aus der Ohm'schen Formel $S = \frac{E}{W}$, aus welcher für $W = 1$, $S = E$ folgt. Die elektromotorische Kraft der Grove'sche Kette ist 829, will demnach so viel sagen, als der Strom dieser Kette würde, wenn der Gesammtwiderstand in ihr der Widerstands-Einheit gleich wäre, in jeder Minute 829 Kubikcentimeter Knallgas liefern.

5. Bestimmung des Verhältnisses der elektromotorischen Kräfte zweier Volta'scher Ketten. Am einfachsten kömmt man zum Ziel, wenn man nach dem vorhergehenden Absatze die elektromotorische Kraft jeder der zu vergleichenden Ketten bestimmt. Man braucht hierzu aber ein die Stromstärke messendes Galvanometer. Ohne ein solches Galvanometer zu benöthigen, kömmt man mit Hilfe des Rheostats zur Lösung der nämlichen Aufgabe auf folgende Art. Man schaltet den Rheostat und ein Galvanometer (eigentlich wieder blos ein Rheoskop) zuerst in die eine, dann in die andere der zu vergleichenden Kette ein und fügt mittelst des Rheostats (und wenn es erforderlich sein sollte auch mittelst der Widerstandsrollen) in jedem der zwei Fälle einen solchen Widerstand hinzu, daß die Rheoskop-Nadel immer genau z. B. auf 45^0 gebracht wird; nun vermehrt man mittelst des Rheostats den eingeschalteten Widerstand, bis die Ablenkung der Nadel z. B. auf 40^0 herabgebracht ist. Es sind jetzt die elektromotorischen Kräfte der verglichenen Ketten proportional den Unterschieden der bei jeder Kette nach einander hinzugefügten Widerstände, d. h. den durch die Umdrehungen des Rheostats gemessenen Widerständen, die in beiden Fällen nöthig waren, um immer die Nadelablenkung von 45^0 auf 40^0 herabzubringen . . . . (144)

Denn bezeichnen S und S_1 die den Ablenkungen 45^0 und 40^0 entsprechenden Stromstärken, so hätte man für die eine Kette, für welche E die elektromotorische Kraft, W den ursprünglichen Widerstand und w, w_1 die Widerstände bedeuten, die eingeschaltet werden mußten, um

die Nadel auf 45° und 40° zu bringen, $S = \frac{E}{W + w}$ und $S_1 = \frac{E}{W + w_1}$ .... (3); und für die zweite beständen offenbar die analogen Gleichungen $S = \frac{E_1}{W_1 + \mathfrak{w}}$ und $S_1 = \frac{E_1}{W_1 + \mathfrak{w}_1}$ (4) wenn E_1 die elektromotorische Kraft dieser Kette, W_1 ihren ursprünglichen Widerstand und $\mathfrak{w}$, $\mathfrak{w}_1$ die hinzugefügten Widerstände bedeuten. Setzt man nun der Kürze wegen $S = cS_1$, so ergeben sich respektive aus (3) und (4) die Gleichungen $W + w = \frac{w_1 - w}{c - 1}$ und $W_1 + \mathfrak{w} = \frac{\mathfrak{w}_1 - \mathfrak{w}}{c - 1}$; folglich $S = \frac{c - 1}{w_1 - w} . E$ und $S = \frac{c - 1}{\mathfrak{w}_1 - \mathfrak{w}} . E_1$, woraus $\frac{E}{E_1} = \frac{w_1 - w}{\mathfrak{w}_1 - \mathfrak{w}}$ folgt, was zu beweisen war.

271. Ausdehnung des Ohm'schen Gesetzes auf die Fälle, wo der Schließungsleiter einer Volta'schen Kette Flüssigkeiten als Zwischentheile enthält und diese Flüssigkeiten nur durch unmittelbare Berührung mit Metallen in den Stromkreis eingreifen. In diesen Fällen werden der Erfahrung gemäß die besagten mit den Flüssigkeiten in Berührung stehenden Metalle, indem der Strom der Kette den Schließungsleiter passirt, in einen Zustand elektromotorischer Thätigkeit versetzt, so daß sie einen dem Strome der Kette entgegengesetzten Strom zu erzeugen suchen, mithin der elektromotorischen Kraft der Kette entgegenwirken. . . . . (145)

Die Ursache dessen liegt in der Veränderung, welche die mit den Flüssigkeiten in Berührung stehenden Metallflächen dadurch erleiden, daß die Bestandtheile (Jonen), in welche die Flüssigkeiten durch den Strom der Kette zerlegt werden (und eine solche Zerlegung findet statt, wenn auch das Auge sie noch nicht wahrnehmen kann), sich auf den als Elektroden fungirenden Metallflächen ablagern, sich mit den Metallen entweder chemisch verbinden oder wenigstens deren Oberflächen überziehen und so die Metalle, wenn sie auch vorher ganz gleichartig waren, in Bezug auf einander ungleichartig machen, woraus eine elektrische Differenz und dieser zu Folge die oben besagte, der elektromotorischen Kraft der Kette entgegengesetzte Wirkung entspringt. Man nennt die so in den Zustand elektromotorischer Thätigkeit versetzten Metalle *polarisirt*, diesen Zustand selbst und den ihn erzeugenden Hergang *galvanische* oder *elektrochemische Polarisation*. Dieser Zustand beginnt mit dem Durchgange des Stromes durch die Flüssigkeiten, dauert so lange als dieser und, falls letzterer nicht zu kurze Zeit gewährt hat, auch noch einige Zeit nach seinem Aufhören fort.

Von dieser Fortdauer überzeugt man sich leicht, wenn die 2 Platin-Elektroden eines Wasserzersetzungsapparates, nachdem durch denselben längere Zeit ein elektrischer Strom geleitet und dieser nachher unterbrochen worden ist, mit einem Galvanometer vereinigt werden. Man erhält da sogleich die Anzeichen eines Stromes, dessen Richtung jener des ursprünglichen entgegengesetzt ist und welcher seinen Grund darin hat, daß die Platin-Elektrode, welche vorher (bei Zersetzung) als Anode fungirte, mit dem auf ihr abgesetzten Sauerstoff das *negative* und die frühere Kathode im Contacte mit dem an ihr abgeschiedenen Wasserstoff das *positive* Glied einer Kette bildet.

Wie die besagten Platin-Elektroden, verhalten sich auch je zwei homogene Metalle, die während sie in einer Flüssigkeit standen, mit einer Volta'schen Kette vereinigt waren und dann von dieser getrennt werden. Verbindet man dieselben gleich nach der Trennung durch einen Metalldraht, so tritt in diesem ein Strom auf, der mit jenem der Volta'schen Kette entgegengesetzte Richtung, zwar nur kurze Dauer, aber immer eine beträchtliche Stärke hat. Man kann auf diese Weise eine ganze Reihe gleichartiger Metallplatten, die einzeln mit Flüssigkeitsschichten abwechseln, in den Zustand versetzen, daß sie dann einen Strom der eben erwähnten Art liefern, und erhält so eine Batterie (oder Säule), welche eine *sekundäre* genannt werden kann, und bei hinreichend großer Plattenzahl eine sehr starke elektromotorische Kraft besitzt, Wasser zersetzt, Funken gibt, Erschütterungen erzeugt u. s. w. Von dieser Art ist die *Ritter'sche Ladungssäule*, welche zu ihrer Zeit viel Aufsehen erregt hat.

Zur Belebung einer solchen Ladungssäule von größerer Plattenzahl hielt man früher eine Volta'sche Batterie ebenfalls von einer großen Anzahl Plattenpaaren, also von hoher Stromintensität für erforderlich, und der sekundäre Strom, welcher erhalten wurde, besaß niemals eine größere, oder auch nur eben große Kraft, als der primäre Strom, der ihn hervorrief.

Poggendorff hat ein Verfahren angegeben, nach welchem man zur Ladung einer sekundären Säule, wie groß auch die Plattenzahl derselben sein mag, mit einer einzigen einfachen Volta'schen Kette ausreicht, so daß durch dieses Verfahren ein Mittel geboten ist, mit Hilfe einer Ladungssäule die elektromotorische Kraft eines an und für sich schwachen Volta'schen Stromes beinahe ins Unbestimmte zu erhöhen. Es besteht im Folgendem. Früher wurde eine Ladungssäule stets dadurch hergestellt, daß man die gleichartigen Platten, z. B. aus Platin, paarweise in mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Zellen stellte, immer die zweite Platte (H) der einen Zelle mit der ersten Platte (O) der folgenden Zelle durch einen Metalldraht verband und dann den primären Strom der ganzen Reihe von Platten und Flüssigkeitsschichten entlang durchlaufen ließ. Nach Poggendorff werden zuvörderst sämmtliche H mit dem Zinke und sämmtliche O mit dem Platin einer einfachen Grove'schen Kette verbunden; dadurch werden alle diese Platten gleich und eben so stark geladen (indem sich die H mit Wasserstoff und die O mit Sauerstoff bekleiden), wie wenn nur ein einziges Paar solcher Platten, das aber an Größe allen Platten zusammen genommen gleich ist, mit der primären Kette verbunden worden wäre. Nachdem diese Verbindung einige Zeit bestanden hatte, hebt man sie rasch auf und verknüpft die nunmehr geladenen Plattenpaare nach dem Prinzipe der Säule unter sich (immer das H der einen Zelle mit dem O der nächsten) und zugleich mit einem Voltameter, wo dann die Wirkung des sekundären Stromes sichtbar wird, dessen elektromotorische Kraft jene des primären Stromes der einfachen Kette im Allgemeinen desto mehr übertrifft, je größer die Zahl der Plattenpaare in der Ladungssäule ist und mit dieser Zahl, wenn auch nicht ins Unbegrenzte, doch um so länger wächst, je kleiner der Widerstand in der primären Kette ist. Dieser sekundäre Strom besitzt jedoch nur eine kurze und zwar eine um so kürzere Dauer, je mehr man seine elektromotorische Kraft erhöht. Daher muß, will man denselben zu etwas Anderm als zu einen momentanen Erschütterungsschlag benützen, die beschriebene Operation (des Ladens und Entladens der sekundären Batterie) oft und schnell nach einander wiederholt werden, was sehr leicht und am besten mittelst einer kleinen mechanischen, von Poggendorff ersonnenen und Wippe genannten Vorrichtung bewerkstelligt werden kann, welche ähnlich den zu einfacher Verwechslung der Schließungen dienenden Commutatoren eingerichtet und in zweckmäßigster Form in Pogg. Ann. B. 61 S. 586 beschrieben ist. Mit einer primären Kette von 2 Grove'schen Elementen und einer Ladungssäule von mehreren hundert Platinplatten lassen sich sehr eclatante Effekte hervorbringen.

In die Klasse der sekundären oder Ladungssäulen gehört, wie Poggendorff (in seinen Ann. B. 61, S. 586) gezeigt hat, auch die unter (134) S. 433 erwähnte Grove'sche Gasbatterie, welche in der Gestalt, die Grove selbst als die bequemste und beste empfahl, und die aus Fig. 510, (eine Zelle d. i. ein Element dieser Batterie darstellend), ersichtliche

Fig. 510.

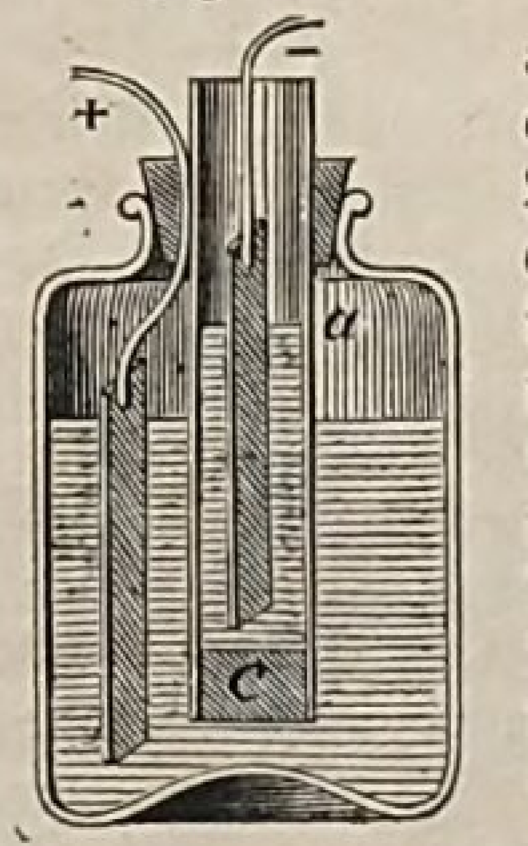


Einrichtung hat. a a ist eine dreihalsige Woulfe'sche Flasche; der mittlere Hals ist durch einen Glasstöpsel b verschlossen, in den andern Hälsen stecken zwei Glasröhren o, h, die mittelst angeschmolzener und äußerlich abgeschliffener Glaskrägen c, c genau einpassen. Im obern Ende jeder etwa 30 Centimeter langen und 1·8 Centimeter weiten Röhre ist ein dicker Platindraht hermetisch eingeschmolzen, der am äußeren Ende ein Quecksilbernäpfchen g trägt, und am innern Ende einen der Breite nach etwas gekrümmten, wohl platinirten d. i. mit Platinmohr überzogenen (S. 467) Platinstreifen angenietet oder angeschweißt hat. Um ein solches Element zu laden, füllt man die Flasche durch den mittleren Hals mit Wasser oder (besser) mit verdünnter Schwefelsäure von 1·2 spez. Gewicht, verschließt dann diesen Hals wieder mittelst seines Pfropfes b und kehrt nun das Ganze um, so daß sich die Röhren o, h mit Flüssigkeit aus der Flasche anfüllen. Nachdem der Apparat wieder aufgerichtet worden, läßt man mittelst einer durch den mittleren Hals in die Flasche eingeführten gekrümmten Röhre in die Röhren o, h die betreffenden Gase aus einer Blase heraufsteigen (in die Röhre o Sauerstoff und in h Wasserstoff), so daß etwa $^3/_4$ jeder Röhre mit Gas angefüllt sind und jeder der Platinstreifen 1, 2 unten noch in Flüssigkeit taucht. Werden nun mehrere derartig geladene Zellen neben einander gestellt, und immer das einer Röhre o angehörige Quecksilbernäpfchen mit dem Näpfchen der Röhre h der nächstfolgenden Zelle durch ein Drahtstück leitend verbunden, so hat man eine zusammengesetzte Gasbatterie, und es brauchen nur die Pole derselben (die in den zwei äußersten Zellen frei gebliebenen zwei Quecksilbernäpfchen, wovon natürlich das

eine einer Röhre o und das andere einer Röhre h angehört) durch einen Schließungsleiter vereinigt zu werden, um den Strom zu erhalten. Mit einer Gasbatterie aus 50 Zellen erhielt Grove folgende Wirkungen: Schläge, die von 5 mit den Händen vereinigten Personen gefühlt wurden; Herumschleudern der Nadel eines mäßig empfindlichen Galvanometers und endlich eine bleibende Ablenkung von 60°; bedeutende Divergenz an einem Goldblatt-Elektroskop; einen hellen, bei vollem Tageslicht sichtbaren Funken zwischen Kohlenspitzen; Zersetzung von Jodkalium, Chlorwasserstoffsäure und angesäuertem Wasser. So wie der Sauerstoff und Wasserstoff, geben auch andere Gase galvanische Wirkung. Der Strom der Gasbatterie entspringt ohne Zweifel aus dem durch das innerlich unveränderte Platin vermittelten Contact der durch die zwei verschiedenen Gase verschieden abgeänderten Oberflächen des besagten Metalles, und der einzige Unterschied zwischen dieser Batterie und der eben vorher besprochenen Ladungsbatterie liegt allein in der Art, wie den Platinplatten, die ihre Oberflächen verändernden Gase (Sauerstoff und Wasserstoff) zugeführt werden; während bei ersterer Batterie diese Gase an den Platten sich selbst entwickeln, werden sie bei der Gasbatterie außerhalb der Batterie dargestellt und dann erst mit den Platten in Berührung gebracht.

Es unterscheidet sich demnach die Gasbatterie vom Gesichtspunkte der Contacttheorie aus betrachtet, im Wesentlichen auch nicht von der sogenannten Becquerel'schen und überhaupt von allen Ketten, die, wie die Becquerel'sche, aus einem Metalle und zwei dasselbe nicht angreifenden (tropfbaren) Flüssigkeiten bestehen, und deren ebenfalls unter (134) S. 433 bereits Erwähnung geschah.

Fig. 511.



Die Becquerel'sche Kette (Fig. 511) besteht aus einer weiten Glasröhre a, deren unteres Ende mit einem Pfropfe c aus porösem Thon verschlossen, mit einer concentrirten Aetzkalilösung gefüllt ist und in ein mit concentrirter Salpetersäure gefülltes Glas taucht; ein Platinstreifen taucht in die Kalilösung und ein anderer in die Salpetersäure und beide werden mittelst Platindrähten in Verbindung gesetzt. Sobald dies geschehen ist, entbindet sich am Platinstreifen in der Kalilösung reichlich Sauerstoff, während am Streifen in der Salpetersäure eine Desoxydation dieser Säure und ein Uebergang derselben in salpetrige Säure oder Untersalpetersäure ohne Gasentwicklung stattfindet. Der Strom dieser Kette ist das Resultat der vereinigten elektromotorischen Thätigkeiten, die aus der Ungleichartigkeit an den Berührungsflächen zwischen dem Platin und dem Kali, dem Kali und der Säure, der Säure und dem Platin entspringen und die alle in gleichem Sinne wirken.

Da, wie nun in dem Vorhergehenden gezeigt wurde, aus der galvanischen Polarisation der metallischen Leiter eines Stromkreises eine der elektromotorischen Kraft der Stromquelle entgegenwirkende selbstständige elektromotorische Thätigkeit entspringt, so muß, damit für eine auch flüssige Leiter enthaltende Kette nach der Ohm'schen Formel die wahre, effektive (wirksame) Stromstärke erhalten werde, diese Formel (141) in die Formel

$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{E} - \mathbf{P}}{\mathbf{W} + \mathbf{F}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (146)$$

umgestaltet werden, worin **S** diese effektive Stromstärke, **E** die gesammte elektromotorische Kraft der Stromquelle, **W** die Summe aller in ihr und in den metallischen Leitern des Schließungskreises gelegenen Leitungswiderstände, **F** die Summe aller Leitungswiderstände der Flüssigkeiten und **P** die Summe aller Polarisationen im Schließungskreise bedeutet. — Die Richtigkeit dieser Formel beweist der Umstand, daß sie die unter was immer für abgeänderten Umständen in jedem Schließungskreise oben vorausgesetzter Beschaffenheit sich ergebenden Erscheinungen ganz genau repräsentirt.

Die Formel (146) zeigt auch, warum in einem Stromkreise nicht unbedingt ein Metalldraht einer Flüssigkeitssäule äquivalent gesetzt werden kann (im Sinne der Anmerkung *) auf S. 567). Ist R der Widerstand eines mit der Flüssigkeit, worauf sich F und P beziehen, äquivalenten Drahtes, so ist wegen nothwendiger Gleichheit der Stromstärken in den beiden Fällen $\frac{E-P}{W+F} = \frac{E}{W+R}$; also $W + R = \frac{E(W+F)}{E-P}$ und $R = \frac{E(W+F)}{E-P} - W = \frac{EF+WP}{E-P}$; welcher Ausdruck bei verschiedenen Größen von E, W und F für den Widerstand R des Drahtes nur dann immer den nämlichen Werth (= F) gibt, wenn P = o, d. h. wenn keine Polarisation vorhanden ist.

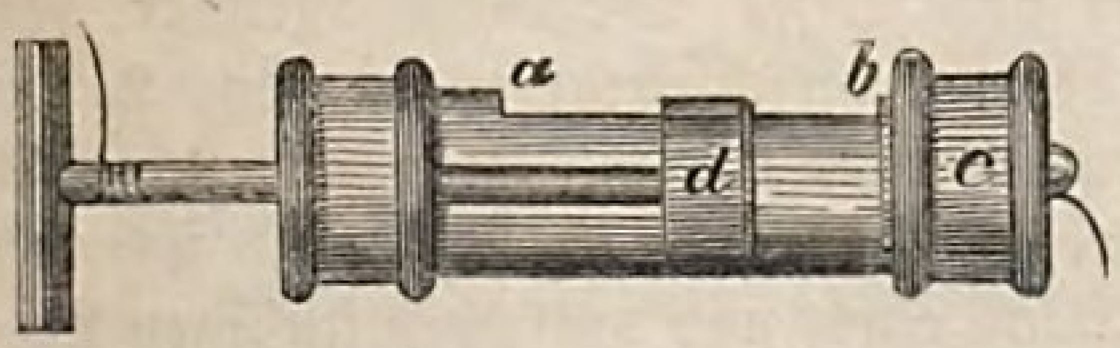
Ein besonderer Fall von Polarisation ist der zuerst von Keir beobachtete und nachher vorzüglich von Schönbein genau studirte, sogenannte Passivitätszustand der Metalle, d. i. jener eigenthümliche Zustand, dem gewisse Metalle während des Contactes mit manchen Flüssigkeiten unter gewissen Umständen annehmen und in welchem sie sich dann nach Aufhebung des besagten Contactes stunden- und oft tagelang gegen Stoffe chemisch ganz unthätig (passiv) verhalten, auf welche sie sonst, und zwar oft sehr kräftig, chemisch einwirken. Am auffallendsten ist dieses Verhalten beim Eisen. Wird dieses Metall, welches durch die käufliche Salpetersäure (von 1·35 spez. Gewicht) sehr stark angegriffen wird, in sehr concentrirte (rauchende) Salpetersäure oder wiederholt in die käufliche Säure getaucht und wieder heraus genommen, so erfährt es dann von der letztgenannten Säure keine Einwirkung mehr. Dieser Zustand chemischer Unthätigkeit, in welchem das Eisen seine glänzende Oberfläche behält, tritt oft plötzlich auch ein, wenn das besagte Metall in der käuflichen Säure eingetaucht bleibt, und es wirken auf dasselbe nach Beetz der Salpetersäure ähnlich auch alle Flüssigkeiten, von welchem es direkt oxydirt wird. Das Eisen wird ferner immer passiv, wenn man dasselbe, während es in Salpetersäure getaucht ist, mit Platin berührt, oder wenn es eine kurze Zeit in einem sauerstoffhältigen Elektrolyten als + Elektrode gedient hat; es wird dann im letzteren Falle nicht mehr durch weitere Oxydation aufgelöst, sondern es findet an ihm, wie an einem edlen Metalle, Entwicklung von Sauerstoff statt. Dem Eisen ähnlich verhält sich Antimon, Wismuth, Zinn, Blei und nach Nickles neuesten Untersuchungen (Compt. rend. August 1853, S. 284) auch Nickel und Kobalt.

Die Angabe, daß Eisen auch durch Erhitzen bis zum Blauanlaufen passiv werde, wurde durch spätere Erfahrungen nicht bestätigt gefunden, es ergaben diese vielmehr, daß vorläufig so erhitztes Eisen, als positive Elektrode angewendet, nicht passiv werde.

Der Grund der Passivität liegt in der Veränderung, welche die Oberflächen der betreffenden Metalle durch Ueberzug mit einer, wenn auch nur ganz dünnen Oxydschichte erfahren und welche eine Abänderung des elektromotorischen Vermögens der letzteren zur Folge hat. Es wird nämlich durch Bildung der besagten Oxydschichte die Oberfläche des Metalls negativ elektrisch und kann sich dann mit dem ebenfalls elektronegativen Sauerstoff nicht weiter verbinden. Daß mit dem Passivitäts-Phänomenen in eine Kategorie auch die in der Anmerkung auf S. 482 angeführten Erscheinungen gehören, fällt wohl von selbst in die Augen.

272. Leitungswiderstand tropfbarer Flüssigkeiten. Um den Leitungswiderstand einer Flüssigkeit zu bestimmen, ist eine Schichte oder Säule derselben irgendwo in den sonst metallenen Schließungsbogen einer constanten Batterie einzuschalten, ein dieser Schichte oder Säule bezüglich ihres Widerstandes äquivalenter (unbeschadet der Stromstärke substituirbarer) Draht zu ermitteln, und der reducirte Widerstand dieses Drahtes zu suchen (der Widerstand dieses Drahtes auf Widerstandseinheiten zurückzuführen). Hierbei muß natürlich die an den Stellen, wo die Flüssigkeit in den metallenen Schließungsbogen eingreift, entstehende galvanische Polarisation ermittelt und in Rechnung gebracht oder nach einem Verfahren zu Werke gegangen werden, bei welchem diese Polarisation ganz außer Betracht bleibt. Ein solches Verfahren hat Wheatstone angegeben und zugleich einen dabei sehr nützlichen und einfachen Apparat zur Aufnahme der in den Stromkreis einzuschaltenden Flüssigkeit beschrieben. Derselbe (Figur 512) besteht aus einer Glasröhre von etwa 2 Zoll Länge und $^1/_2$ Zoll inneren Durchmesser, die oben von a bis b in einer Länge von $^5/_4$ Zoll offen ist, in-

Fig. 512.

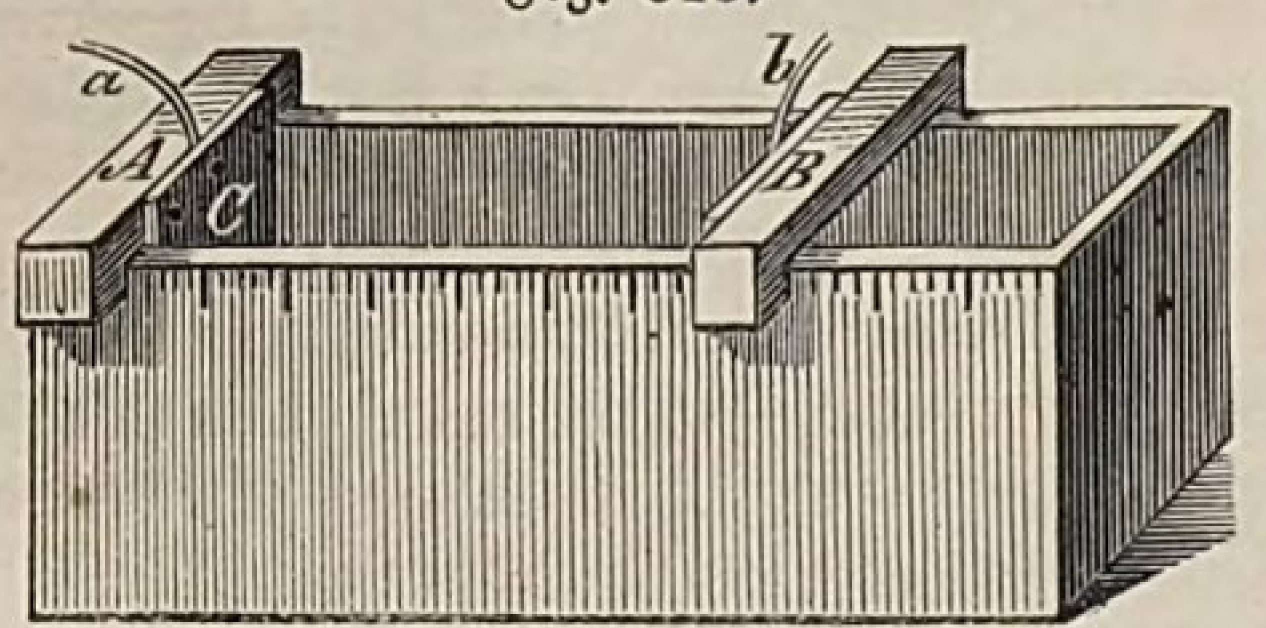


dem daselbst ein Segment von 90° weggeschliffen wurde. In dem einen Ende enthält sie einen flüssigkeitsdicht festgemachten Metallpfropf c, dessen innere Fläche eine Platinplatte bildet, und von dem andern Ende her läßt sich in ihr ein Stempel d schieben, welcher an der vordern Seite ebenfalls in eine Platinplatte endigt, bis auf ¼ Zoll der festen Platinplatte genähert und ⁵⁄₄ Zoll von ihr entfernt werden kann. Die Verschiebung des Stempels hat sonach einen Spielraum von 1″ und kann im Bedürfnißfalle mittelst einer mikrometrischen Vorrichtung gemessen werden.

Um nun den Widerstand einer Flüssigkeit zu messen, schließt man eine constante Batterie, (die etwa aus 3 Elementen besteht), mit dem Rheostat sammt Widerstandsrollen (**270**), einem Galvanometer (Rheoskop) und der eben beschriebenen Meßröhre zur Kette. Man füllt dann, während der Stempel von der festen Platinplatte am Pfropfe c ¼ Zoll absteht, den Zwischenraum beider (des Stempels und der Platinplatte) mit der Flüssigkeit, deren Widerstand bestimmt werden soll, bringt durch Adjustirung des Rheostats die Rheoskopnadel auf einen bestimmten Punkt (α), zieht, nachdem dieser Punkt aufgezeichnet worden, den Stempel um 1″ zurück und füllt den so erhaltenen ganzen Zwischenraum mit der besagten Flüssigkeit an. Natürlich zeigt jetzt die Nadel eine geringere Ablenkung als vorher und man muß, um sie wieder genau auf den ursprünglichen Punkt (α) zurückzubringen, den Widerstand der Kette verringern, indem man aus dieser mittelst des Rheostats und der Widerstandsrollen eine entsprechende Anzahl Drahtwindungen ausschaltet. Die reducirte Länge des so aus der Kette gebrachten Drahtes ist das Maß des Widerstandes eines Zolles der Flüssigkeit. Die Polarisation bleibt bei dem ganzen Prozesse dieselbe, hat daher keinen Einfluß auf das Resultat.

In mehrfacher Beziehung vortheilhafter als die Wheatstone'sche Meßröhre ist der von Horsford zu demselben Zweck angewendete und in Fig. 513 abgebildete Apparat. Er besteht in einem prismatischen, 3 Decimeter langen, 7½ Centimeter breiten und eben so tiefen Trog aus dichtem, an den inneren Flächen mit Schellackfirniß überzogenen Holze oder aus einem andern schlecht leitenden Materiale, auf welchem Troge zwei Holzstücke liegen, von denen das eine **A** festsitzt, während das andere **B** wie ein Schlitten auf dem Troge hin- und hergeschoben werden kann, und diese Querstücke tragen Metallplatten (**C**), die durch die ganze Breite und Höhe des Troges gehen. Es läßt sich also die Metallplatte **B** in beliebige Abstände von der fixen Platte **A** bringen, und der jedesmalige Abstand kann mittelst eines auf der einen äußeren Längenseite des Troges verzeichneten Maßstabes gemessen werden. Die bezüglich ihres Widerstandes zu untersuchende Flüssigkeit kömmt natürlich in den Zwischenraum beider Metallplatten und wird vermittelst an diesen Platten festgeklemmter Kupferstreifen a, b mit dem Rheostaten sammt Widerstandsrollen und mit einem Rheoskope in den Schließungsbogen einer constanten Batterie von erforderlicher Stärke eingeschaltet; übrigens wird bei Bestimmung des Widerstandes der im Troge enthaltenen Flüssigkeit in ganz ähnlicher Art, wie bei Anwendung der Wheatstone'schen Meßröhre verfahren. Es hat der Horsford'sche Apparat vor dieser Meßröhre offenbar den Vorzug, daß er die Widerstandsmessungen 1. bei viel verschiedeneren Längen, 2. bei sehr verschiedenen Querschnitten der Flüssigkeitsschichten vorzunehmen und 3. leicht Platten von verschiedenen Metallen einzusetzen, gestattet. Man überzeugt sich mit diesem Apparate leicht, daß der Leitungswiderstand eines und desselben flüssigen Leiters der Länge desseben direkt und seinem Querschnitte umgekehrt proportional sei.

Fig. 513.



Daß Flüssigkeitsschichten von gleicher Länge und gleichem Querschnitte, aber verschiedener materieller Beschaffenheit, ungleich große Leitungswiderstände zeigen, hat seinen Grund in der ungleichen spezifischen Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten. Uebrigens hängt diese Leitungsfähigkeit auch von der Temperatur ab und eine Erhöhung der letzteren bewirkt bei Flüssigkeiten eine bedeutende Verminderung des Leitungswiderstandes; es ist, nach Hankel, diese Verminderung aber der Temperaturveränderung nicht proportional, sondern für einen bestimmten Temperaturunterschied desto größer, je näher die Temperatur dem Nullpunkte ist. Die verschiedenen Flüssigkeiten scheinen in diesen Veränderungen einen ziemlich übereinstimmenden Gang zu beobachten.

Die folgende Tabelle enthält die spezifischen Leitungswiderstände einiger Flüssigkeiten, jenen des Silbers = 1 gesetzt.

Flüssigkeit	Leitungswiderstand nach Horsford	Leitungswiderstand nach Becquerel
Schwefelsäure, 1·1 spezifischen Gewichts	938500	——
„ 1·15 „ „	840500	——
„ 1·20 „ „	696700	——
„ 1·30 „ „	696700	——
„ 1·40 „ „	1023400	——
„ mit 1 Atom Wasser, verdünnt	——	——
„ mit 1 Vol. Wasser	——	1128000
Chlornatriumlösung, 27·6 Gramm in 500 C. C. Wasser	7157000	——
„ 21·3 „ „ „ „ „ „	9542000	——
„ 10·65 „ „ „ „ „ „	18460000	——
„ 5·325 „ „ „ „ „ „	34110000	——
Zinkvitriol-Lösung, 7·258 Gramm in 100 C. C. Wasser	——	48080000
„ gesättigte	——	17330000
Chlornatrium-Lösung, gesättigt	——	3173000
„ verdünnt zum 2fachen Volumen	——	4333000
„ „ „ 3 „ „	——	5721000
„ „ „ 4 „ „	——	7864000
Chlorkalium-Lösung, 27·7 Gramm in 500 C. C. Wasser	716800	——
Kupfervitriol-Lösung 15·093 Gramm in 100 C. C. Wasser	12058000	——
„ gesättigte	——	18450000
„ verdünnt zum 2fachen Volumen	——	28820000
Salpetersaures Kupfer, gesättigte Lösung	——	11120000
Salpetersäure, käufliche von 36° Beaumé	——	1606000

Ueber das Leitvermögen ausdehnsamer Flüssigkeiten fand E. Becquerel folgende Resultate: Gase fangen, in einer durch Apparate schätzbaren Weise, erst gegen die Temperatur des Rothglühens an, die Elektrizität zu leiten; von da aus nimmt ihr Leitvermögen aber mit der Temperatur zu und ist bei Verdünnung immer größer. Sehr stark (bis auf 3—4 m.m. Quecksilber) verdünnte Gase leiten auch unter der Rothglühhitze gut. Den Leitungswiderstand der Luft = 1 gesetzt, beträgt er bei Wasserstoff 0·3—0·4; bei Sauerstoff 0·4—0·7; bei Chlor 0·92; bei Stickstoff nahe 1 und bei Kohlensäure 1·2—2. (Compt. rend., Juli 1853, S. 20.)

273. Nummerische Bestimmung des Werthes der Polarisation. Diese Bestimmung, deren Nothwendigkeit schon allein aus **271** und **272** hinlänglich einleuchtet, kann auf folgende Art geschehen. Man bringt die Stromstärke der (constanten) Batterie, welche in ihrem Schließungskreise die Flüssigkeit im Contacte mit den Metallen enthält, um deren Polarisation es sich handelt, durch Einschaltung einer entsprechenden Drahtlänge mittelst des Rheostats auf eine bestimmte Größe, so daß die Nadel eines ebenfalls eingeschalteten Rheoskopes eine gewisse Ablenkung z. B. a° zeigt, und vermindert nachher durch weitere Einschaltung von Rheostatdraht die Nadelablenkung auf b°; angenommen es sei hierzu die Anzahl r Rheostatwindungen erforderlich. Jetzt entfernt man die vorbesagte Flüssig-

keit so wie jede Spur der durch sie bewirkten Polarisation, bringt durch Einschaltung von Rheostatdraht die Stromstärke zuerst wieder genau auf a^0 und dann durch weitere Einschaltung einer neuen Anzahl r_1 Rheostatwindungen auf die Größe b^0. Nun verhält sich die bei Einschluß der Flüssigkeit wirksam gewesene elektromotorische Kraft **E** der Kette zur elektromotorischen Kraft E_1 nach Ausschluß der Flüssigkeit aus dem Schließungskreise, wie $r : r_1$, (und zwar nach Satz (144) auf S. 573, indem die in Rede stehende constante Kette, während sie die besagte Flüssigkeit einschließt, und dieselbe Kette nach Ausschluß der Flüssigkeit zweien verschiedenen Ketten, d. i. Ketten von verschiedenen elektromotorischen Kräften, gleich zu halten ist, weil die in dem zweiten Falle ihr eigene elektromotorische Kraft im ersten Falle durch die Polarisation geschwächt, also verändert wird); es ist mithin die Differenz $r_1 - r$ das Maß der Polarisation d. i. der aus der betreffenden, durch einen Strom von der Stärke a^0 bewirkten Polarisation hervorgerufenen elektromotorischen Gegenkraft . . . . (†)

Beispiel. In einem Falle mußten, um die Ablenkung der Rheoskopnadel von 20° auf 10° herabzubringen, bei metallischer Schließung der Kette 19·91 Rheostatwindungen und als in den Schließungsbogen eine aus zwei Platinplatten, die in Salpetersäure tauchten, gebildete Zersetzungszelle gebracht wurde, 17·37 Rheostatwindungen eingeschaltet werden; der Werth der Polarisation war also 19·91 — 17·37 = 2·54. Für die im Folgenden angeführten Zersetzungszellen wurden von Lenz und Saweljev als Werthe der Polarisation die beigesetzten Zahlen gefunden und zwar für die Zelle: aus Kupferplatten in Kupfervitriol 0·07, in 6perzentiger Schwefelsäure 2·15; aus amalgamirten Zinkplatten in 6perz. Schwefelsäure 1·08; aus Platinplatten in 6perz. Schwefelsäure 5·46, in Salpetersäure 2·48; aus Zinnelektroden in Schwefelsäure 1·45; aus Eisenelektroden in Schwefelsäure 0.33; aus Graphit in concentrirter Salpetersäure 1·26. Ferner fanden dieselben Petersburger Physiker die Polarisation: für Platin in Sauerstoff 2·48, in Wasserstoff 3·06; für Graphit oder Kohle in Sauerstoff 1·25; für Zink in Wasserstoff 1·00; für Kupfer in Wasserstoff 2·15; für Zinn in Wasserstoff 1·45; für Eisen in Wasserstoff 0·33. Reduzirt man die Werthe der Polarisation auf die chemische Einheit Jacobi's (S. 461), so ergibt sich: für Platin in Sauerstoff 538, in Wasserstoff 651; für Graphit oder Kohle in Sauerstoff 271; für Zink in Wasserstoff 217; für Kupfer in Wasserstoff 466; für Zinn in Wasserstoff 314; für Eisen in Wasserstoff 72.

Die Polarisation nimmt mit der Dauer des Stromes zu; sie hängt auch von der Stärke des Stromes ab, wächst mit ihr, aber in einem geringeren Verhältnisse und erreicht endlich ein nicht übersteigbares Maximum (nach Poggendorff nähert sie sich mit steigendem Werthe der Stromstärke asymtotisch einer constanten Größe). Erhöhung der Temperatur der Flüssigkeit hat eine Abnahme der Polarisation zur Folge. Für Platinplatten mit blanken Oberflächen ist dieses Maximum (nach Wheatstone) $2\frac{1}{2}$ mal so groß, als die Kraft einer einfachen Daniell'schen Kette; es ist einzig allein die Polarisation (die aus ihr resultirende elektromotorische Gegenkraft) Ursache, warum außer den stark elektromotorischen Grove'schen und Bunsen'schen Ketten keine andere einfache Kette (weil ihre geringere elektromotorische Kraft durch die besagte Gegenkraft mindestens zum größten Theil aufgehoben wird) eine Wasserzersetzung bewirken kann (S. 455). Bei platinirten (mit Platinmohr überzogenen) Platinplatten beträgt die Polarisation beträchtlich weniger (im Maximum nur etwa $\frac{3}{4}$ des Werthes bei blanken Platten) und ist auch wenig abhängig von den Veränderungen der Stromstärke, so daß man sie ohne Fehler als constant annehmen kann. Wasserzersetzungsapparate geben daher viel mehr Gas, wenn sie platinirte, als wenn sie blanke Platinelektroden haben.

Die im Vorhergehenden besprochene und als Wirkung der galvanischen Polarisation angesehene Schwächung des Stromes leitete man früher von einem sogenannten Uebergangswiderstande ab, indem man sich dachte, daß der Strom außer dem Widerstande, den er in den Flüssigkeiten und in den festen Leitern, zwischen welchen diese eingeschaltet sind, erfährt, auch noch einen besondern Widerstand an den Uebergangsstellen aus den flüssigen in die festen Leiter zu überwinden habe. Diese Hypothese des Uebergangswiderstandes wurde zuerst von Fechner aufgestellt und begründet, fand an vielen Physikern, darunter vorzüglich Vorselmann de Heer und Ohm, Gegner, hingegen an andern, namentlich an Poggendorff und Lenz, Vertheidiger; ist nun aber, seitdem man die mit dem Namen „Polari-

sation" bezeichnete elektromotorische Gegenkraft direkt nachgewiesen, der Größe nach bestimmen gelernt und gesehen hat, daß die besagte Stromschwächung ganz in Uebereinstimmung mit dem Ohm'schen Gesetze durch diese Gegenkraft sich erklären lasse, allgemein aufgegeben.

274. Einfluß der Anzahl und Größe der Elemente auf die Wirkung einer elektrischen Kette. Hat man eine durch einen Leiter geschlossene einfache Volta'sche Kette und bedeutet e deren elektromotorische Kraft (nach Abschlag der aus der Polarisation entspringenden Gegenkraft), **L** den Widerstand der Kette, und l jenen im Schließungsleiter; so ist die Stromstärke $s = \frac{e}{L+l}$ .... (I). Werden n solche einfache Ketten zu einer Batterie vereinigt und diese durch den nämlichen Leiter, wie vorher die einfache Kette, geschlossen; so stellt offenbar n e die gesammte elektromotorische Kraft der Batterie, n **L** den Gesammtwiderstand in dieser dar, und es ist ihre Stromstärke $s_1 = \frac{ne}{nL+l}$ .... (II). Werden hingegen die n einfachen Ketten so verbunden, daß aus allen positiven Gliedern ein einziges großes positives und aus allen negativen Gliedern ein einziges großes negatives Glied gebildet wird (indem man, wenn z. B. die n Ketten Zink-Kupferketten sind, alle n Zinkplatten zu einer einzigen großen Zink- und alle n Kupferplatten zu einer einzigen großen Kupferplatte vereinigt), hat die Flüssigkeitsschichte zwischen diesen großen Kette-Gliedern die nämliche Dicke, wie vorher zwischen den Gliedern jeder der einfachen Ketten, und wird endlich die großgliedrige einfache Kette wieder mit demselben Leiter, wie in den vorigen Fällen, geschlossen; so ist die elektromotorische Kraft, weil sie nicht von der Größe der Elektromotoren abhängt, wieder e, wie bei jeder einzelnen der n einfachen Ketten; der Widerstand in der Kette aber ist wegen des n mal größeren Querschnittes der letzteren n mal kleiner als bei einer der n Ketten, mithin $\frac{L}{n}$. Demnach ergibt sich bei der gebildeten großgliederigen Kette die Stromstärke $s_2 = \frac{e}{\frac{L}{n}+l} = \frac{ne}{L+nl}$ .... (III).

Die 3 Formeln (I), (II) und (III) gehen unter der Voraussetzung, l sei so groß, daß im Vergleiche damit **L**, mithin um so mehr $\frac{L}{n}$ und ferner auch n**L** als sehr kleine Größen vernachlässigt werden können, in die Ausdrücke

$s = \frac{e}{l}$, $s_1 = \frac{ne}{l}$ und $s_2 = \frac{e}{l}$ über. Es ist daher sehr nahe $s_1 = ns$ und $s_2 = s$; d. h. bei sehr großem Widerstande im Schließungsleiter wird die Wirkung der elektrischen Kette nur durch die Vermehrung der Anzahl der Elemente, und zwar mit dieser Vermehrung in gleichem Verhältnisse, keineswegs aber durch Vergrößerung der Erregerplatten gesteigert. Ist hingegen die Größe l so klein, daß sich dieselbe und auch sogar n l im Vergleiche mit **L** vernachlässigen läßt, so ist sehr nahe

$$s = \frac{e}{L},\quad s_1 = \frac{ne}{nL} = \frac{e}{L} \text{ und } s_2 = \frac{ne}{L};$$

mithin $s_1 = s$ und $s_2 = ns$. Demnach bewirkt bei einem sehr kleinen Widerstande im Schließungsleiter die Vermehrung der Elemente keine Steigerung des Effektes der Kette; dieser wächst aber in gleichem Verhältnisse wie die Größe der Erregerplatten. Es ist daher im betrachteten Falle der Effekt einer zusammengesetzten Volta'schen Kette gleich jenem eines einzigen Gliedes derselben.

Die Vergleichung verschiedener Volta'scher Batterien in Bezug auf diesen Effekt geschieht einfach durch Schließung derselben mittelst der Tangentenbussole,

deren Widerstand gegen jenen in der Stromquelle selbst vernachlässigt werden kann. So wie die Tangenten der Ablenkungswinkel der Bussolennadel verhalten sich natürlich die korrespondirenden Effekte.

Diese Betrachtungen leiden offenbar auch Anwendung auf thermoelektrische Ketten, in welchen, weil sie gewöhnlich nur aus Metallverbindungen bestehen und keine Flüssigkeiten enthalten, nur ein verhältnißmäßig geringer Leitungswiderstand vorhanden ist.

Nimmt die Zahl n der Elemente ohne Ende zu, so nähert sich, weil da in der Formel $s_1 = \frac{ne}{nL+l} = \frac{e}{L+\frac{l}{n}}$ der Bruch $\frac{l}{n}$ immer kleiner wird, der Werth von s_1 immer mehr dem Werthe $\frac{e}{L}$, kann demselben daher durch gehörige Vergrößerung von n beliebig nahe gebracht werden, ihn aber nie erreichen oder wohl gar übertreffen. Demnach ist, bei einem bestimmten Widerstande l im Schließungskreise einer Batterie der größte durch Vermehrung der Elemente derselben erzielbare Effekt stets kleiner als $\frac{e}{L}$ d. i. als der Effekt, den ein einziges Element der Batterie gibt, wenn es durch einen Leiter geschlossen ist, dessen Widerstand an und für sich oder in Bezug auf jenen in der Kette selbst vernachlässigt werden kann.

Hätte man zur Erreichung eines gewissen Zweckes eine Stromstärke nöthig, die den einer bestimmten Batterie entsprechenden Werth $\frac{e}{L}$ übersteigt; so läßt sich diese Stärke nie durch Vermehrung der Elemente dieser Batterie, sondern nur durch eine andere Batterie erreichen, bei welcher e größer oder **L** kleiner als bei der vorigen oder beides zugleich der Fall ist. Da der Leitungswiderstand im Innern einer Volta'schen Batterie unter sonst gleichen Umständen in dem nämlichen Verhältnisse abnimmt, in welchem die Berührungsflächen zwischen Platten und Flüssigkeit wachsen, so kann blos durch Vergrößerung dieser Flächen (der Erregerplatten) die Wirkung der Batterie bis zu einer durch die Natur der Flüssigkeit selbst bestimmten Grenze beliebig groß gemacht werden.

Wird der Widerstand **L** im Stromkreise einer Kette durch Hinzubringung eines neuen Widerstandes L_1 vergrößert, so nimmt die Stromstärke ab und wird, wenn sie früher $\frac{E}{L}$ war, jetzt $= \frac{E}{L+L_1}$, wo **E** die gesammte elektromotorische Kraft bedeutet. Es verhalten sich daher in beiden Fällen die Stromstärken wie $\frac{1}{L} : \frac{1}{L+L_1} = L+L_1 : L = 1 + \frac{L_1}{L} : 1$. Je kleiner nun L_1 im Verhältnisse zu **L**, je kleiner also der Werth des Bruches $\frac{L_1}{L}$ ist, desto mehr nähert sich das Verhältniß der Stromstärken jenem der Gleichheit und entfernt sich desto weiter davon im umgekehrten Falle. Einen je größeren Widerstand ein Strom bereits überwunden hat, desto weniger verliert er demnach an Stärke, wenn ein neuer Widerstand hinzukömmt. Hingegen nimmt die Stärke eines bei ursprünglich geringem Widerstande erzeugten Stromes in sehr starkem Verhältnisse ab, wenn er nachher einen Leiter von größerem Widerstande passirt. Aus dem eben Erwiesenen folgt, daß man bei allen die Vergleichung oder Messung von Leitungswiderständen betreffenden Untersuchungen, wozu Ströme erfordert werden, die für Widerstands-Differenzen möglichst empfindlich sind, eine Stromquelle anwenden müsse, in welcher ein sehr geringer Widerstand vorhanden ist, weswegen zu solchen Untersuchun-

gen der Strom einer thermoelektrischen Kette oder der in einer Drahtspirale inducirte Strom jenem einer Volta'schen Kette immer weit vorzuziehen ist.

Es folgt hier die allgemeine Formel für die Stromstärke einer geschlossenen Volta'schen Kette, deren Platten einander parallel und von gleicher Größe sind. Sie ist:

$$S = \frac{nE}{\frac{nRD}{F} + \frac{rl}{q}}$$

wo S die Stromstärke, E die elektromotorische Kraft eines Elementes der Kette, n die Anzahl der Elemente, R den spezifischen Widerstand der Flüssigkeit, D die Dicke der die Platten trennenden Flüssigkeitsschichte oder der Abstand der Platten, F die mit der Flüssigkeit in Berührung stehende Fläche der Platten, r den spezifischen Widerstand des Schließungsdrahtes, l dessen Länge und q dessen Querschnitt bedeutet.

275. Bedingungen der Erreichung der größten Stromstärke durch eine aus gegebenem Materiale zu konstruirende Volta'sche Batterie. Aus einer gegebenen Quantität von Zink- und Kupferblech oder andern zu den Erregerplatten bestimmten Materialien läßt sich eine Batterie entweder von wenigen und größeren oder von mehr und kleineren Elementen konstruiren. Um mit derselben bei gegebenem Widerstande des Schließungsleiters die möglich größte Stärke zu erreichen, muß sie aus einer gewissen Anzahl n Elementen bestehen, welche Anzahl zu bestimmen ist. Bedeutet E die elektromotorische Kraft, L den Widerstand der Kette, wenn sie nur aus einem einzigen, das ganze gegebene Materiale enthaltenden Elemente bestünde, und L_1 den Widerstand im Schließungsleiter; so ist bei n Elementen der Widerstand in jedem Elemente (von n mal kleinerer, einen n mal größeren Widerstand begründenden Fläche) n L, somit $n^2 L$ der Gesammtwiderstand in der Batterie . . . (†), und man hat die Stromstärke

$$S = \frac{nE}{n^2 L + L_1} = \frac{E}{nL + \frac{L_1}{n}} \; . \; . \; . \; . \; (1).$$

Die größte Stromstärke wird demnach durch jenen Werth von n erzielt, für welchen der Nenner $nL + \frac{L_1}{n}$ des obigen Bruches am kleinsten wird. Setzt man anstatt dieses Werthes irgend einen andern n_1; so ist offenbar $n_1 L + \frac{L_1}{n_1} > nL + \frac{L_1}{n}$ und es muß die Differenz $n_1 L + \frac{L_1}{n_1} - \left(nL + \frac{L_1}{n}\right)$ oder der ihr gleiche Ausdruck

$$(n_1 - n)L + \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n}\right)L_1 = (n_1 - n)\left(L - \frac{L_1}{nn_1}\right)$$

immer positiv sein, was bei der Voraussetzung $n_1 > n$ nur der Fall ist, wenn auch $L - \frac{L_1}{nn_1}$ positiv, mithin $\frac{L_1}{nn_1} < L$ ist, hingegen bei der Voraussetzung $n_1 < n$ nur statt findet, wenn $L - \frac{L_1}{nn_1}$ negativ, mithin $\frac{L_1}{nn_1} > L$ ist. Da, wenn man sich n von 0 an immerfort zunehmend denkt, der Bruch $\frac{L_1}{nn_1}$ fortwährend abnimmt, und da, nach Vorstehendem, $\frac{L_1}{nn_1} < L$ oder $\frac{L_1}{nn_1} > L$ wird, je nachdem n_1 einen größeren oder kleineren Werth als n erhält; so muß offenbar für $n_1 = n$, $\frac{L_1}{nn_1} = \frac{L_1}{n^2} = L \; . \; . \; . \; . \; (2)$, folglich $n = \sqrt{\frac{L_1}{L}}$ sein. Zur Erzielung der größ-

ten Stromstärke muß daher die Batterie aus so vielen Elementen bestehen, als die der Größe $\sqrt{\frac{L_1}{L}}$ am nächsten kommende ganze Zahl Einheiten hat. Da nach Gleichung (2) $L_1 = n^2 L$ . . . . (3) ist; so geht obige Formel (1), durch Substitution der Werthe für n und $n^2 L$, in die Formel

$$S = \frac{nE}{2L_1} = \frac{E}{2L_1}\sqrt{\frac{L_1}{L}} = \frac{E}{2\sqrt{L_1 L}}$$ über.

Aus der Gleichung (3) folgt, weil $n^2 L$ den Gesammtwiderstand der Batterie (†) und L_1 den Widerstand im gesammten Schließungsleiter darstellt, der Satz: daß jene, aus gegebener Menge des Materials konstruirte Volta'sche Batterie den stärksten Strom gebe, bei welcher der eigene Gesammtwiderstand dem Gesammtwiderstande des Schließungsleiters gleich ist . . . . (147).

Schließt man die so konstruirte Batterie mit einem Leiter, dessen Widerstand sehr klein ist und vernachlässigt werden kann; so ist nach Formel (1) ihre Stromstärke $S = \frac{nE}{n^2 L} = \frac{E}{nL}$, oder wenn für n der oben gefundene Werth $\sqrt{\frac{L_1}{L}}$ gesetzt wird, $S = \frac{E}{\sqrt{L_1 L}}$, also gerade doppelt so groß als bei Anwendung des Schließungsleiters vom Widerstande L_1. Jede Batterie erleidet, während sie wirksam ist, zu Folge der in ihr stattfindenden chemischen Vorgänge eine Abnutzung, deren Betrag, da sie in jeder Batteriezelle gleich ist, bei sonst gleichen Umständen mit der Anzahl der Zellen, daher mit der Elementenzahl der Batterie wächst. Handelt es sich also darum, bei einer Batterie die größte Wirkung mit dem geringsten Kostenaufwande zu erreichen, so wird jene (nach der im Vorstehenden gegebenen Theorie zu konstruirende) Batterie in ökonomischer Beziehung die vortheilhaftere sein, die aus weniger Elementen besteht.

276. Betrachtung der Multiplikatoren und Galvanometer in Bezug auf ihren Leitungswiderstand. Bezeichnet W den Leitungswiderstand in allen Theilen einer geschlossenen Kette, das multiplizirende Drahtgewinde eines eingeschalteten Galvanometers oder Multiplikators ausgenommen; e die elektromotorische Kraft der Kette; l die Länge einer Windung des multiplizirenden Drahtgewindes; n die Anzahl der Windungen; q den Querschnitt des Drahtes und w den eigenthümlichen Leitungswiderstand des Stoffes, aus welchem der Draht besteht: so stellt (**268** und **269**) $\frac{lw}{q}$ den Leitungswiderstand in einer Drahtwindung, mithin $\frac{nlw}{q}$ jenen aller Drahtwindungen dar, und man hat, dem Ohm'schen Gesetze zu Folge, für die Stromstärke in jeder Windung den Ausdruck $\frac{e}{W + \frac{lw}{q}}$.

Da die Kraft, womit eine Drahtwindung auf die Magnetnadel wirkt, der in dieser Windung herrschenden Stromstärke proportional ist; so kann die Action einer Drahtwindung auf die Magnetnadel durch $\frac{eh}{W + \frac{lw}{q}}$ repräsentirt werden, wenn h eine von der Gestalt der Windungen und vom Magnetismus der Nadel abhängige Größe bedeutet, und es ergibt sich unter der Voraussetzung, daß jede Windung mit gleicher Stärke auf die Nadel einwirkt, (welche Voraussetzung zwar nie verwirklicht wird (**221**), hier aber die Betrachtung, ohne deren Resultate im Wesent-

lichen zu ändern, sehr erleichtert) für die Gesammtwirkung **K** aller n Windungen, also des ganzen Multiplikators auf die Magnetnadel die Formel

$$\mathbf{K} = \frac{n e h}{\mathbf{W} + \frac{n l w}{q}} \quad . \; . \; . \; . \; (a).$$

Bedeutet **G** das Gewicht des Multiplikatordrahtes und d seine Dichte, so ist $\mathbf{G} = n l q d$, hiernach $q = \frac{\mathbf{G}}{n l d}$ und, nach Substitution dieser Werthe in die vorige Formel (a),

$$\mathbf{K} = \frac{n e h}{\mathbf{W} + \frac{n^2 l^2 w d}{\mathbf{G}}} \quad . \; . \; . \; . \; (b).$$

Wenn $\frac{l w}{q}$ den Leitungswiderstand in einer der n Drahtwindungen ausdrückt, die man sich aus der Masse Draht vom Gewichte **G** gemacht denkt, so stellt $\frac{l^2 w d}{\mathbf{G}} = \frac{l^2 w d}{n l q d} = \frac{l w}{n q} = \mathbf{R}$ den n mal kleineren Widerstand vor, der im Drahte für den Fall statt finden würde, daß aus seiner ganzen Masse **G** nur eine einzige Windung (von gleicher Länge und daher n mal größerem Querschnitt als vorher) gemacht würde, und die Formel (b) geht in die Form

$$\mathbf{K} = \frac{n e h}{\mathbf{W} + n^2 \mathbf{R}} \quad . \; . \; . \; . \; (c)$$

über. Wendet man nun auf diesen Ausdruck die nämlichen Schlüsse an, wie dies in **275** auf die Formel $\mathbf{S} = \frac{n \mathbf{E}}{n^2 \mathbf{L} + \mathbf{L}_1}$ geschehen; so zeigt es sich, daß der Werth von **K** ein Maximum, d. i. die Action des multiplizirenden Gewindes auf die Nadel am größten wird, wenn $\mathbf{W} = n^2 \mathbf{R} = \frac{n l w}{q}$ . . . . (d)

ist, d. h. wenn der Multiplikatordraht so gewählt wird, daß der Gesammtwiderstand $\left(\frac{n l w}{q}\right)$ aller Windungen, dem Widerstande (**W**) in dem ganzen übrigen Theile des Stromkreises (in der Kette und allen Theilen des Schließungsleiters mit Ausnahme des Multiplikators) gleich kommt . . . (e)

Es ist daher zur Erzielung der möglich größten Einwirkung auf die Magnetnadel, je nach Verschiedenheit der Stromquellen und ihrer Schließungsleiter, auch eine verschiedene Beschaffenheit des multiplizirenden Drahtgewindes nothwendig. Demnach erfordern Volta'sche (hydroelektrische) Ketten, bei welchen wegen der Flüssigkeiten, die sie enthalten, der Leitungswiderstand immer mehr oder weniger groß ist, aus langen und dünnen Drähten bestehende, (und daher ebenfalls große Widerstände leistende) Multiplikatorgewinde, während die thermoelektrischen Ketten, deren innerer Leitungswiderstand nie groß sein kann, multiplizirende Gewinde aus kurzen und dicken Drähten erheischen (siehe*) S. 561). Die in jedem Falle entsprechende Länge und Dicke des Multiplikatordrahtes wird durch die bei gegebenem Stoffe und Gewichte der Drahtmasse aus Formel (d) sich ergebende Windungsanzahl $n = \sqrt{\frac{\mathbf{W}}{\mathbf{R}}}$ bestimmt, bei welcher dann zu Folge der Formel (c) die Action auf die Nadel $= \frac{e h}{2\sqrt{\mathbf{W} \mathbf{R}}}$ ist. Auf dem nämlichen Wege, auf welchem eben der Satz (e) dargethan wurde, gelangt man auch leicht zu dem Satze, daß mit einer gegebenen Batterie

und mit einem bestimmten Gewichte Drahtes für die Magnetisirungsspirale eines Elektromagnetes bei letzterem das Maximum der Kraft (so lange diese mit der Stromstärke und mit der Anzahl der Spiralwindungen wächst) erhalten werde, wenn man dem besagten Drahte eine solche Dicke gibt, daß der Leitungswiderstand in der Magnetisirungsspirale gerade jenem der gegebenen Batterie und der übrigen Theile ihres Schließungsleiters gleich ist.

277. Theilung des Stromes in Zweigströme. Eine solche tritt immer ein, wenn der Stromleiter an einer Stelle in zwei oder mehrere, später wieder zusammenlaufende Aeste (Zweige) sich spaltet. Die Gesetzmäßigkeit dieser Stromtheilung ergibt sich aus der folgenden Betrachtung. Es sei **E** die elektromotorische Kraft der Stromquelle, **W** der Gesammtwiderstand der ganzen Kette und **S** die Stärke des ungetheilten Stromes, mithin nach (141) S. 567, $S = \frac{E}{W}$. Findet eine Theilung des Stromleiters in Aeste a_1, a_2, a_3 u. s. w. von verschiedenen Längen und Querschnitten Statt, und sind die Leitungswiderstände dieser Aeste der Reihe nach w_1, w_2, w_3 u. s. w.; so lassen sich die Werthe derselben (nach **268** und **269**) leicht für die Voraussetzung darstellen, daß die Aeste alle eine gleiche Länge (λ) haben, aus einem und demselben Materiale bestehen, also nur im Querschnitte von einander verschieden sind, und man erhält, wenn σ der spezifische Leitungswiderstand des besagten Materiales ist, ferner q_1, q_2, q_3 u. s. w. die Querschnitte der gleich lang vorausgesetzten Aeste bedeuten, offenbar $w_1 = \frac{\lambda\sigma}{q_1}$; $w_2 = \frac{\lambda\sigma}{q_2}$; $w_3 = \frac{\lambda\sigma}{q_3}$ u. s. w., woraus $q_1 = \frac{\lambda\sigma}{w_1}$; $q_2 = \frac{\lambda\sigma}{w_2}$ $q_3 = \frac{\lambda\sigma}{w_3}$ u. s. w. folgt . . . (1). Da nun alle neben einander laufenden Aeste in Bezug auf Stromleitung unzweifelhaft äquivalent sind einem einzigen Leiter, der die nämliche materielle Beschaffenheit und dieselbe Länge wie sie, aber einen der Summe ihrer Querschnitte gleichen Querschnitt hat; so besteht, wenn w den Widerstand dieses den Aesten äquivalenten einzigen Leiters vorstellt, den obigen Gleichungen analog, auch die Gleichung

$w = \frac{\lambda\sigma}{q_1 + q_2 + q_3 + \ldots}$, mithin $q_1 + q_2 + q_3 + \ldots = \frac{\lambda\sigma}{w}$ . . . . (2); und aus (1) und (2) folgt: $\frac{\lambda\sigma}{w} = \frac{\lambda\sigma}{w_1} + \frac{\lambda\sigma}{w_2} + \frac{\lambda\sigma}{w_3} +$ u. s. w. oder $\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3}$ + u. s. w. . . . . (3). Bedeuten s_1, s_2, s_3 u. s. w. die Intensitäten der durch die Theilung des Stromes entstandenen Zweigströme, so ist, weil bei einer solchen Theilung jeder der Aeste von gleicher Länge und aus demselben Stoffe offenbar einen seinem Querschnitte proportionalen Stromtheil empfängt,

$$S : s_1 : s_2 : s_3 : \text{u. s. w.} = q_1 + q_2 + q_3 + \ldots : q_1 : q_2 : q_3 : \text{u. s. w.}$$

oder, den Gleichungen (1) und (2) gemäß,

$S : s_1 : s_2 : s_3 : \text{u. s. w.} = \frac{1}{w} : \frac{1}{w_1} : \frac{1}{w_2} : \frac{1}{w_3} : \text{u. s. w.}$, und hiernach ergeben sich die, die Stärken der Zweigströme darstellenden Gleichungen:

$s_1 = \frac{S \cdot w}{w_1}$; $s_2 = \frac{S \cdot w}{w_2}$; $s_3 = \frac{S \cdot w}{w_3}$ u. s. w. . . . . (4) worin für w der aus (3) folgende Werth $\frac{w_1\, w_2\, w_3 \ldots}{w_2\, w_3 + w_1\, w_3 + w_1\, w_2 + \ldots}$ zu substituiren kömmt. Die Proportion unter (4) sagt zugleich, daß die Theilung eines Stromes in Zweigleiter immer im Verhältnisse der reziproken Werthe der Leitungswiderstände oder (da der reziproke Werth des Leitungswiderstandes eines Leiters als das Maß der Lei=

tungsfähigkeit des letzteren angesehen werden kann), im Verhältnisse der Leitungsfähigkeiten der Zweigleiter stehen.

Ist die Kette (der ganze Stromkreis) von der Art, daß sich der übrige Widerstand darin im Verhältniß zu dem (von uns mit w bezeichneten) summatorischen Widerstand der sämmtlichen Zweigleiter als verschwindend klein annehmen läßt.... (†), so kann oben in der Gleichung (141) anstatt des den Gesammtwiderstand der Kette repräsentirenden **W** auch w gesetzt werden, so daß man $\mathbf{S}=\frac{\mathbf{E}}{w}$ erhält, woraus $\mathbf{S}w=\mathbf{E}$ ... (5) folgt. Substituirt man diesen Werth in den Gleichungen (4), so gehen diese über in: $s_1=\frac{\mathbf{E}}{w_1}$; $s_2=\frac{\mathbf{E}}{w_2}$; $s_3=\frac{\mathbf{E}}{w_3}$; u. s. w. .... (6), und es besteht somit für die Zweigströme folgendes Gesetz: Jeder Zweigstrom hat in allen Fällen, wo die unter (†) angeführte Annahme Statt finden kann, genau jene Größe, die er hätte, wenn durch seinen Leiter allein die Kette geschlossen würde...(148).

Von diesem Gesetze machte in neuester Zeit Professor Petřina in Prag eine höchst wichtige Anwendung in der elektrischen Telegraphie, in welcher, wie leicht begreiflich, die Annahme (†) vollkommen Platz findet. Früher waren auf den betreffenden Stationen immer so viele Hauptbatterien in Anwendung, als von der Station verschiedene Telegraphenlinien ausgehen, auch hielt man so viele Lokalbatterien für nothwendig, als auf der Station durch diese Batterien zu bedienende Signal- (z. B. Morse'sche Schreib-) Apparate aufgestellt sind. Nach dem Gesetze (148) muß nun auf einer Station eine einzige Haupt- und eine einzige Lokalbatterie ausreichend sein, auch in dem Falle, wenn von dieser Station nach allen von derselben auslaufenden verschiedenen Telegraphenlinien gleichzeitig telegraphirt wird; man hat nur eine Batterie von der Stärke zu nehmen, wie sie sonst für die entfernteste Station allein angewendet wurde, den einen Pol derselben mit den Leitungsdrähten aller Telegraphenlinien und den andern, wie früher, mit der Erde zu verbinden.

Petřina hat diese von ihm erdachte Benützung der Zweigströme in der Telegraphie zuerst der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften (man sehe die Sitzungsberichte der Akademie von 1853, B. 10, S. 3) mitgetheilt. Diese hat darauf bezügliche Versuche durch das hiesige k. k. Telegraphenamt veranlaßt, und diese Versuche haben nach einer Mittheilung Sr. Excellenz des Herrn Präsidenten der Akademie die Möglichkeit einer bedeutenden Verminderung der Batterien herausgestellt. Es konnte nämlich die Zahl der früher in Anwendung gestandenen galvanischen Elemente in Wien von 480 auf 84, in Verona von 180 auf 60, in Triest von 150 auf 84, in Salzburg von 180 auf 60 und in Oderberg von 96 auf 36 herabgesetzt, somit in diesen 5 Stationen die sonst nöthig gewesenen 1102 Elemente auf 324 reducirt werden.

Andere ebenfalls von Petřina herrührende sinnreiche Anwendungen der Stromtheilung sind: a) eine Methode, Multiplikatoren oder Rheoskope zu graduiren (man sehe S. 448 unter (136) u. S. 573) und b) eine Methode, Stromstärken beliebiger Quellen und von jeder Größe selbst mit einem empfindlichen und nur für schwache Ströme berechneten Galvanometer (Rheometer oder Rheoskope) zu messen, d. i. mit einander rücksichtlich ihrer Größe zu vergleichen. Beide Methoden gründen sich auf Folgendes: Läßt man durch einen dicken und kurzen Leiter, am besten durch Quecksilber, welches eine (etwa 12'' lange) Rinne von durchaus gleichem (etwa 4 Quadratlinien großen) Querschnitt ausfüllt, einen Volta'schen Strom gehen und taucht die Drahtenden eines empfindlichen Galvanometers in verschiedenen Entfernungen von einander in die Quecksilberrinne ein; so erhält man in dem Galvanometer Zweigströme, deren Größen wie die respektiven Entfernungen der Drahtenden sich verhalten. .... (I.) Leitet man Ströme verschiedener Stromquellen, überhaupt verschiedener Stärke, durch die Quecksilberrinne und regulirt für jeden dieser Ströme die Entfernung der besagten, in das Quecksilber tauchenden Drahtenden von einander, so, daß die Galvanometernadel immer eine gleichgroße Ablenkung zeigt; so sind die Intensitäten der aus den betreffenden Stromquellen kommenden Ströme den respektiven Entfernungen der Drahtenden umgekehrt proportional..... (II.) (Je stärker nämlich der

von der Stromquelle gelieferte Strom ist, bei einer desto kleineren gegenseitigen Entfernung der eingetauchten Drahtenden erreicht der durch das Galvanometer gehende Zweigstrom eine gewisse, eine bestimmte Ablenkung der Galvanometernadel bewirkende Stärke). Diesen Sätzen (I) und (II) gemäß, deren Begründung sich in v. Holger's Zeitschrift für Physik, B. 1 von S. 168 an, und in Pogg. Ann. B. 57, S. 111 findet, ist nun bei der oben unter a) und b) erwähnten Graduirung der Multiplikatoren und Messung der relativen Stromstärken, wie schon für sich einleuchtet, in nachstehender Art zu verfahren. Ad a) Man läßt einen schwachen Strom (z. B. eines thermoelektrischen Elementes) dessen Stärke die Einheit bildet, durch den Multiplikator allein gehen und notirt den Ausschlag (α) der Nadel; nun leitet man den stärkeren Strom eines hydroelektrischen konstanten Elementes durch die Quecksilberrinne, mißt die gegenseitige Entfernung der in diese eingetauchten Multiplikator-Drahtenden (mittelst einer passenden Längenmaß-Skale, welche neben der Quecksilberrinne auf dem dieselbe enthaltenden Bretchen verzeichnet ist), verdoppelt, verdreifacht, vervierfacht dann die besagte Drahtenden-Entfernung, notirt jedesmal den Ausschlag der Multiplikatornadel, nachdem derselbe konstant geworden, und erhält so gemäß (I) die Skalenpunkte, welche der doppelten, dreifachen, vierfachen Stromstärke entsprechen. Reicht für die höheren Skalenpunkte die Rinne in Bezug auf Länge nicht mehr aus, so nehme man zwei solche konstante Elemente, suche die Entfernung der Multiplikatordrahtenden für irgend einen bereits bestimmten Grad und fahre dann durch entsprechend vergrößerte Entfernungen der Drahtenden die höheren Grade zu bestimmen fort. Ad b) Man leitet die zu vergleichenden Ströme, einen nach dem andern, durch die Quecksilberrinne, bewirkt in jedem Falle durch gehörige Entfernung der eingetauchten Galvanometer-Drahtenden (bei Strömen, die der Empfindlichkeit des Galvanometers gegenüber zu stark sind, nöthigenfalls auch noch durch Verlängerung des Galvanometerdrahtes vermittelst eingeschalteten Rheotstat-Drahtes), daß die Nadel immer eine gleiche Ablenkung (α) erfährt, und mißt die dazu erforderlichen Drahtenden-Entfernungen. Gemäß (II) stehen die in Frage gestandenen Stromstärken mit diesen Entfernungen in umgekehrtem Verhältnisse.

Zum Schluß sollen endlich hier noch die Anwendungen der Stromtheilung ins Gedächtniß zurückgerufen werden, die auf S. 450 in der Anmerkung und auf S. 572 unter (+) vorkommen.

278. Atmosphärische Elektrizität. In der Luft, auch bei ganz heiterem Himmel, und in den Wolken ist immer mehr oder weniger freie Elektrizität vorhanden. Dieses beweisen für die unteren Luftregionen Beobachtungen mittelst der Luftelektroskope d. s. empfindliche Elektroskope, bei welchen ein viele Schuhe weit emporragender, oben zugespitzter oder in mehrere Spitzen auslaufender Draht als Kollektor dient. (Zu Luftelektrizitäts-Beobachtungen sehr empfehlenswerthe Apparate von Rommershausen und Lamont findet man in Pogg. Ann. B. 69 S. 71 und B. 85 S. 494 beschrieben.) Für die höheren Regionen und für die Wolken lehren Versuche, welche (von Franklin, de Romas u. a.) durch Steigenlassen papierner Drachen angestellt wurden, die an ihrem obersten Punkte eine Metallspitze trugen und deren Schnur durch Feuchtigkeit oder durch einen ihrer ganzen Länge nach eingeflochtenen Draht leitend gemacht, am unteren Ende aber durch Befestigung an einer Seidenschnur isolirt war. Aus diesem unteren Ende erhielt de Romas bei sehr heiterer Witterung elektrische Funken, welche starke Erschütterungen hervorbrachten (die Luftelektrizität bei heiterem Himmel ist in der Regel positiv und nimmt, je nach der Tages- und Jahreszeit und zwar ziemlich gesetzmäßig zu und ab), und als der Drache in beträchtlicher Höhe an eine Gewitterwolke gelangte, bekam er einen Funkenstrom von 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke. Dies und die Aehnlichkeit der Eigenschaften und Wirkungen des Blitzes mit jenen des Funkens einer kräftigen Elektrisirmaschine oder einer starken Leidner Flasche bei der Entladung (zickzackförmige Bahn durch die Luft, Durchbrechen und Zersplittern anderer schlechter Leiter, Entzündung brennbarer Stoffe, Erschütterungen u. s. w.) beweisen hinlänglich, daß ein solcher Funke und der Blitz nur dem Grade nach verschieden sind. In der That ist ersterer (der Blitz) nichts anders als ein sehr kräftiger elektrischer Funke, der von einer Wolke durch die Luft auf eine andere Wolke oder auf die Erde überspringt (im letzteren Falle sagt man es schlage ein). Der heftige Knall, welcher beim Durchbrechen dieses Funkens

durch die schlechtleitende Luft entsteht, bildet den Donner, dessen Rollen von der ungleichen Entfernung der durch den Blitz auf seinem Wege erschütterten Stellen und von der Vervielfältigung des besagten Knalles durch Reflexion an verschieden entfernten Wolken, Bergen u. s. w. herkömmt. Die Zeit, die von der Wahrnehmung des Blitzes bis zu jener des Donners verfließt, hängt von der Entfernung des Beobachters von dem Orte in der Atmosphäre ab, wo die elektrische Entladung vor sich geht.

Eine z. B. mit + E geladene Gewitterwolke kann eine andere Wolke durch Vertheilung in den entgegengesetzten elektrischen Zustand versetzen, indem die abgestoßene + E dieser letzteren Wolke an eine andere ihr nahe gekommene Wolke übergegangen ist. Entladet sich nachher die Gewitterwolke selbst durch einen Blitzstrahl, so verschwindet ihre vertheilende Wirkung, die vorher durch diese Wirkung in der zweiten Wolke gebunden gewesene — E wird frei und kann sich bei hinreichender Nähe gegen die Erde mit der in dieser ebenfalls durch Vertheilung hervorgerufenen + E ausgleichen, so daß ein Wetterschlag von der Erde nach der Wolke hin, d. i. ein sogenannter Rückschlag stattfindet (S. 386). Ein solcher tritt auch ein, wenn die der Erde hinreichend nahe gekommene, stark geladene Gewitterwolke, ohne sich zu entladen, schnell vorüberzieht und dann die durch Vertheilung in der Erde hervorgerufenen und getrennt erhaltenen entgegengesetzten Elektrizitäten sich plötzlich wieder vereinigen.

Als die vorzüglichsten Quellen der atmosphärischen Elektrizität (die übrigens gewiß auch noch durch andere Ursachen, z. B. durch den Vegetationsprozeß, durch Reibung der bewegten Luft an den Regentropfen u. s. w. erzeugt wird) sieht man die Verbrennungsprozesse auf der Erde und die Dampfbildung hauptsächlich aus dem Wasser der Meere an, hierzu veranlaßt durch die Erfahrung, daß alle gasförmigen Verbrennungsprodukte und aller bei Abscheidung des Wassers von Salzen sich bildende Wasserdampf auffallend positiv elektrisch sind (während die verbrennenden Stoffe und die zurückbleibenden Flüssigkeiten negativ elektrisch erscheinen). Die elektrische Spannung in der Stärke, wie sie Bedingung der kräftigen Entladung beim Blitze ist, entspringt sicherlich erst aus der Verdichtung des Dampfes zu Wasser und aus der ungemeinen Raschheit, womit diese Verdichtung bei Entstehung und Vergrößerung der Wolken fortschreitet.

Auch bei der bekannten Erscheinung des so oft die Hoffnungen des Landmannes vernichtenden Hagels spielt, nach Volta's Ansicht, die Elektrizität eine Hauptrolle. Bei Erklärung dieses Phänomens sind vorzüglich zwei Punkte ins Reine zu bringen, nämlich a) woher im Sommer (in welcher Jahreszeit allein es in der Regel nur hagelt) die enorme Kälte komme, die zur Entstehung der großen Eismassen erforderlich ist, welche in Körnern von der Größe einer Linie bis 6 Zoll Durchmesser niederfallen, und b) wie die Hagelkörner, nachdem sie bei ihrer Bildung in der oberen Luftregion eine Größe erreicht haben, bei der sie vermöge ihres Gewichtes herabfallen sollten, noch so lange in der Luft erhalten werden können, bis sie zu oft Pfunde schweren Massen angewachsen sind. Nach Volta's Hageltheorie steigen die Wolken im Sommer in hohe und trockene Luftregionen, werden daselbst von der Sonne beschienen, erfahren so eine sehr rasche Verdünstung an ihrer oberen Fläche und hiedurch, da zur Dunstbildung viel Wärme erforderlich ist, welche hier der betreffenden Wolke selbst entzogen wird, eine so starke Erkaltung, daß ein Theil des fein zertheilten Wassers, aus welchem die Wolke besteht, gefriert. Die gebildeten, in die Höhe steigenden Dünste werden in den kälteren Luftschichten, in welche sie gelangen, (durch Abkühlung) wieder zu fein zertheiltem Wasser, zu einer Wolke, verdichtet, und die beiden, nun über einander schwebenden Wolken befinden sich in entgegengesetztem elektrischen Zustande. Es werden demnach die durch die Verdünstung in der untern Wolke gebildeten Eiskörner zwischen beiden Wolken aus dem nämlichen Grunde, wie beim sogenannten elektrischen Hagel (S. 401) die Hollundermarkkügelchen zwischen den Platten b, c (Fig. 371) auf und nieder bewegt. Indem sie hierbei durch die an ihren Oberflächen aus den Wolken fortwährend sich absetzenden und selbst in Eis übergehenden Wassertheile allmälig an Masse immer mehr zunehmen, erreichen sie endlich ein Gewicht, bei welchem sie zwischen den Wolken durch deren Elektrizitäten nicht mehr zurückgehalten werden können, und fallen dann herab. So sinnreich und annehmbar erscheinend diese Ansicht auch ist, so stehen derselben doch noch manche mit ihr nicht vereinbare Thatsachen entgegen. Ueberhaupt gibt es bis jetzt keine, alle Erscheinungen beim Hagel genügend und in Uebereinstimmung erklärende Theorie.

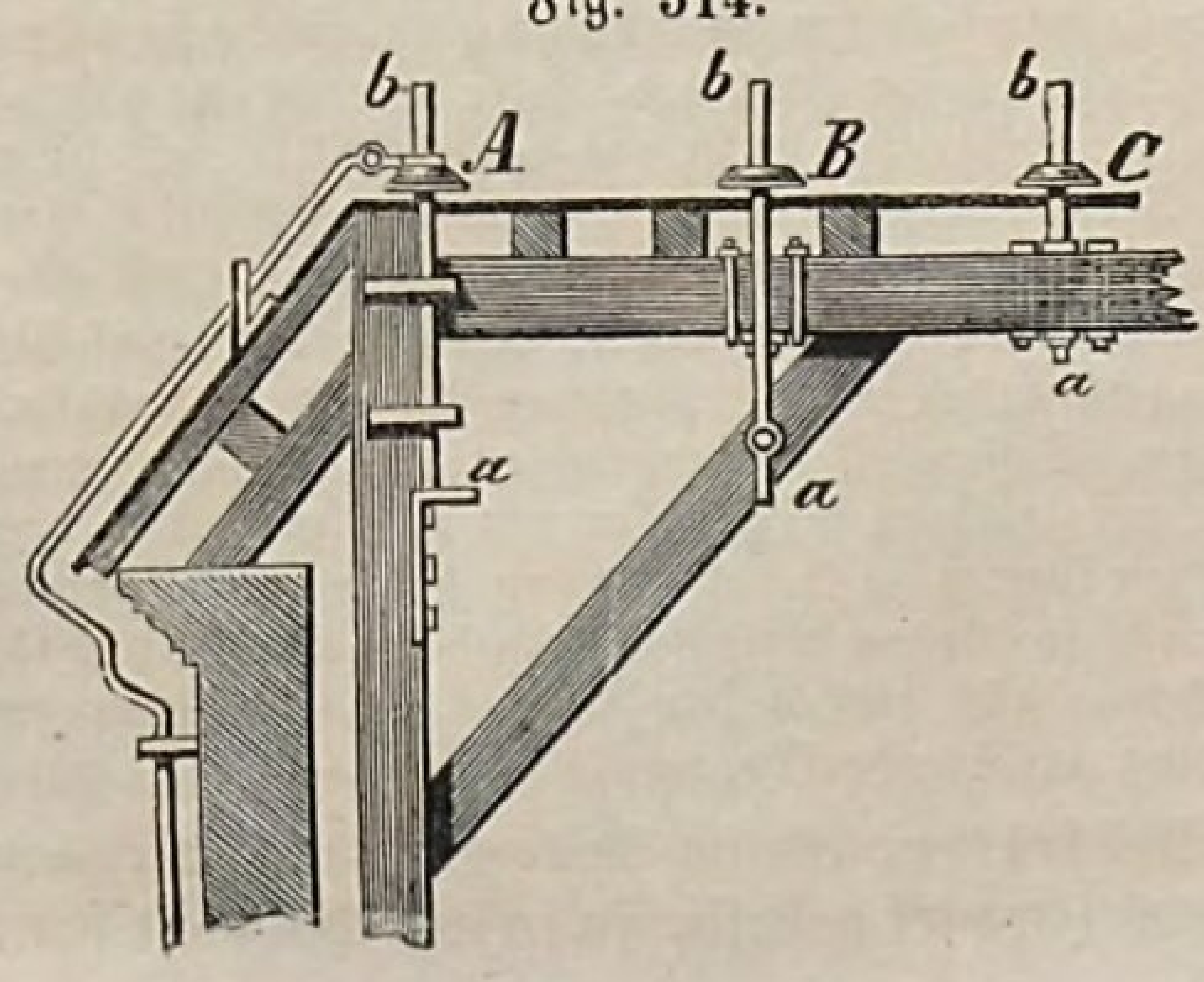
279. Blitzableiter. Hagelableiter. Kaum hatte Franklin das in
278 bezeichnete Wesen des Blitzes außer Zweifel gestellt, so führte ihn diese seine

schöne Entdeckung sogleich zu der höchst nützlichen Erfindung der Blitz- oder Wetterableiter. Es sind dies Vorrichtungen, durch welche der aus einer Wolke hervorbrechende Blitz auf einem bestimmten Wege ohne Schaden der Gebäude, Schiffe, Menschen u. s. w. zur Erde geleitet wird, und welchen die aus der völligen Gleichheit des Blitzes mit einem sehr kräftigen elektrischen Funken sich ergebende Voraussetzung zu Grunde liegt, daß der Blitz unter mehreren ihm dargebotenen Leitern immer den besseren und bei sonst gleicher Beschaffenheit den nächsten Leiter aufsuche und diesem ohne nachtheiligen Einfluß auf den Leiter selbst und auf dessen Umgebung folge, wenn ersterer, vermöge hinreichend großen Querschnittes, der Wolkenelektrizität ein ungehindertes Abfließen in die Erde gestattet. Demnach besteht ein Blitzableiter in der Wesenheit gewöhnlich 1. aus einer oder mehreren über die höchsten Punkte des zu schützenden Gebäudes emporragenden Metallstangen, Auffangstangen genannt, und 2. aus einer von diesen Stangen ununterbrochen in die Erde herabgehenden metallenen Leitung, der sogenannten Ableitung.

Die Auffangstangen haben den Zweck, mit ihren oberen in die Luft ragenden Enden die den mit elektrischen Entladungen drohenden Wolken nächsten und besten Leitpunkte des Gebäudes zu bilden, welche dann der Wahrscheinlichkeit nach vor allen anderen Punkten vom herabfahrenden Blitze getroffen werden. Diese Stangen müssen daher (3—4 Fuß) über die Schornsteine und alle anderen höchsten Punkte des Gebäudes emporgehen und oben mit scharfer Spitze versehen sein, weil diese die Elektrizität leichter aufnimmt [(126) S. 383]. Man verfertigt die Stange aus Schmiedeeisen, gibt ihr eine konische oder pyramidale Gestalt, eine der Beschaffenheit des Gebäudes entsprechende Länge (die jedoch nie über 3 Klafter betragen soll, weil sonst die Befestigung der Stange, so daß sie vom Winde nicht umgeworfen werden kann, kaum möglich, mindestens sehr schwierig ist); ihre Dicke nimmt vom untern, auf dem Gebäude, gewöhnlich auf der Dachfirste, aufsitzenden Ende bis zum obern allmälig von etwa zwei Zoll bis zu ½ Zoll ab, und am dünneren Ende hat sie eine kupferne, im Feuer stark vergoldete oder ganz aus Platin bestehende Spitze aufgeschraubt (damit die Spitze nicht durch Rosten zerstört oder schlecht leitend gemacht werden kann). Da nach der auf zahlreiche Erfahrungen sich gründenden Ansicht des (ehemaligen) französischen Akademikers Charles die schützende Wirkung einer Auffangstange sich nur auf einen Umkreis erstreckt, dessen Halbmesser dem Doppelten der Stangenhöhe gleich ist; so müssen größere Gebäude mehrere und zwar so viele und in der Art angeordnete Auffangstangen erhalten, daß je zwei nicht weiter als um das Doppelte der Summe ihrer Höhen von einander abstehen und kein Gebäudetheil, insbesondere keiner der höheren, außer der Wirkungssphäre der ihm nächsten Auffangstange bleibe.

Was die Befestigung der Auffangstangen auf den Gebäuden anbelangt, so macht die Fig. 514, in welcher a b diese Stangen in oben abgebrochenem Zustande bedeuten, bei A, B und C drei verschiedene Arten dieser Befestigung ohne weitere Erklärung verständlich. Eine große Festigkeit gewährt die Einrichtung, wo die Auffangstange auf dem Rücken des Daches mittelst eines Sattels aufsitzt (der aus zwei an der Stange gegen das untere Ende hin und mit ihr in einerlei Ebene angeschraubten, nach abwärts divergirenden, starken Eisenschienen und mehreren andern an diesen unter rechten Winkeln festgemachten horizontalen Querschienen besteht), und in der Richtung der Firste durch zwei geneigte Stangen gestützt ist, deren jede

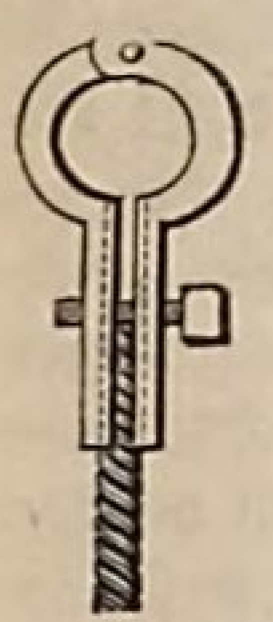
Fig. 514.



mit dem einen Ende an der Auffangstange und mit dem andern an der gewöhnlich über die Firste hinlaufenden, ebenfalls eisernen Ableitstange festgeschraubt oder aber in der Firste selbst befestigt ist.

Ableitung. Zur leitenden Verbindung der Auffangstange mit der Erde, und wenn ein Gebäude mehrere solche Stangen benöthigt, auch aller dieser Stangen unter einander, werden Stangen oder besser Flachschienen aus Eisen, Streifen aus Kupferblech oder Seile aus Kupfer- oder Messingdraht angewendet. Die einzelnen Stücke der Ableitung aus Eisen oder Kupferstreifen werden mit ihren rein und eben gefeilten Enden sowohl an den Auffangstangen als an einander mittelst Schrauben und Muttern, die Kupferstreifen wohl auch nur durch Zusammenieten, befestigt, und es ist gut, zwischen die zusammen zu schraubenden Theile an den Verbindungsstellen wohlgereinigte Bleistreifen einzulegen, weil diese dann, dem Drucke der Schrauben nachgebend, eine völlig ununterbrochene und andauernde metallische Verbindung sichern. (Ob eine solche ununterbrochene metallische Verbindung in der ganzen Ableitung stattfindet, kann dadurch leicht ermittelt werden, daß man die Ableitung zum Schließungsbogen eines Volta'schen Elementes macht und zugleich eine Magnetnadel mit einschaltet. Das Nichtstattfinden einer Ablenkung der Nadel nach Schließung der Kette ist ein sicherer Beweis, daß die Ableitung irgendwo durch eine verrostete oder aus sonst einem Grunde schlecht leitende Stelle unterbrochen ist.) Bei einer Drahtseilableitung geschieht die Befestigung derselben an der Auffangstange am besten mittelst eines am untern Ende der Stange festgemachten Scharnierstückes, in welchem das Seilende eingeklemmt ist. (Fig. 514 und 515.) Andere Zusammenfügungen werden bei einem Drahtseile, da man sich dasselbe in der zur ganzen Ableitung erforderlichen Länge immer leicht aus einem ununterbrochenen Stücke verschaffen kann, nicht nothwendig.

Fig. 515.



Die Ableitung ist immer von den Auffangstangen aus, auf dem kürzesten Wege und am besten auf der Wetterseite, in die Erde herabzuführen, und wird auf dem Dache selbst von eisernen, 3—6 Zoll hohen Stützen getragen, in deren oberen, gabelförmigen Enden sie liegt und darin mittelst über ihr durch die Gabelzinken gesteckter Querbolzen festgehalten wird. So weit die Ableitung dem Rücken des Daches entlang geht, werden diese Stützen mittelst auf der Firste sitzender Sättel, auf den Dachabhängen aber durch Einschlagen in den Dachstuhl selbst befestigt. Der an den Gebäudewänden herablaufende Theil der Ableitung kann seine Befestigung durch eben solche (aber horizontale) Stützen oder durch bloße Klammern erhalten, die in die Wände eingetrieben werden. Damit der Blitz aus der metallenen Ableitung schnell genug und sicher in den, im Verhältnisse zum Ableitungsmateriale weit schlechter leitenden Erdboden abfließen könne, muß man die Ableitung einige Fuß tief in das Erdreich (welches dort gewöhnlich feuchter ist, als an der Oberfläche) versenken und darin in mehreren horizontalen, von dem Gebäude abgewendeten und divergirend laufenden Aesten und Zweigen endigen lassen, wo dann die größere Anzahl Berührungspunkte zwischen dem Metalle und dem Erdreiche Ersatz für das schlechtere Leitvermögen des letzteren ist. Man wählt zu diesen Versenkungen die feuchtesten Stellen; am besten erreicht man den Zweck, wenn man die Ableitung in fließendem Wasser endigen lassen kann, dessen Oberfläche eine leichte und völlig freie Vertheilung des Blitzes gestattet. Eine Versenkung in einen Brunnen ist nicht zweckentsprechend, weil hier die Wasseroberfläche zur besagten Vertheilung viel zu beschränkt ist und die Einfassung den Brunnens sogar einen Widerstand bildet. Den versenkten Theil der Ableitung, insbesondere wenn diese aus Eisen besteht, macht man gegewöhnlich aus Blei, indem man um das untere Ableitungsende einen entsprechend breiten und langen Streifen aus Tafelblei innig anliegend herumwickelt und dann durch Zerschneiden des vom besagten Ableitungsende entfernteren Theils dieses brei-

ten Streifens in mehrere schmälere die oben erwähnten Aeste oder Zweige bildet. Zum Behufe besseren Feuchthaltens der Umgebung dieser Aeste und Zweige wird diese Umgebung zunächst gewöhnlich aus Holzkohlenklein gebildet. In Betreff der Dicke, welche die besprochenen Ableitungen haben müssen, damit sie, ohne zerstört, geschmolzen oder auch nur auf einen für die Umgebung gefährlichen Grad erhitzt zu werden, selbst den kräftigsten Blitz unschädlich der Erde zuzuführen vermögen, darf man den bisherigen Erfahrungen gemäß sicher annehmen, daß in allen Fällen für Ableiter aus Eisen ein Querschnitt von $\frac{1}{4}$ □ Zoll, für Streifen aus Kupferblech von der Dicke des zu Bedachungen gewöhnlich verwendeten, eine Breite von 2—3 Zoll hinreiche, und für Messingdrahtseile ist nach v. Yelin eine solche Dicke von (4·7—6·7 □ Linien Querschnitt) als das Minimum anzunehmen, daß eine Seillänge von etwa 10 Fuß das Gewicht eines baierischen Pfundes hat. (Bei Drahtseilen aus Kupfer reicht wegen des größeren Leitvermögens des letzteren eine geringere Dicke hin.) Mehrere dünnere Drähte sind wenigeren und dickeren Drähten vorzuziehen, weil in letzteren häufiger unganze, die gute Leitung unterbrechende Stellen vorkommen, als in ersteren und man bei mehreren Drähten sicherer sein kann, daß einer den Fehler des anderen unschädlich macht.

Den Ableitern aus Messingdrahtseilen ungünstig ist die mehrseitig gemachte Erfahrung, daß Messingdraht durch die Hitze der Sonne, des Rauches naher Schornsteine und zu Folge andauernder, durch den Wind bewirkter Erschütterungen ein krystallinisches Gefüge erhält und brüchig wird.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß der Blitz, wenn er in ein Gebäude einschlägt, immer die hervorragenden Kanten, Ecken und Spitzen an den höchsten Stellen des Gebäudes trifft. Es ist daher wegen der Unsicherheit, woher der erste Anfall aus der Gewitterwolke kommt, gut, wie schon Raimarus vorgeschlagen hat, die Ableitung die ganze Firſt des Daches entlang, über die Schornsteine hin, (in welche der Blitz, wegen der aus ihnen aufsteigenden, ihm als Leiter dienenden dunstreichen Rauchsäule so häufig fährt), und wenn Ecken, Frontiſpice, hervorragende Altane oder dgl. vorhanden sind, auch über deren Gipfel und Rand zu führen (auch jede größere Metallmasse am Gebäude muß in Verbindung mit der Ableitung gesetzt werden, weil der zur Erde fahrende Blitz in solchen Massen sekundäre elektrische Ströme erzeugt, die, wenn ihnen kein Abfließen in die Erde möglich gemacht ist, ebenso gefährlich werden können, wie der Blitz selbst). Bei der eben besagten metallischen Bewaffnung *) der hervorragenden Stellen des Gebäudes, welche, auch beim Vorhandensein von Auffangstangen, doch immer die einzige vollkommene Sicherung des Gebäudes bleibt, bedarf es dann auch keiner Auffangstange, weil die besagte Bewaffnung nun den niederfahrenden Blitz auffängt, und so ganz die Rolle der Auffangstange spielt **).

*) Am leichtesten geschieht diese Bewaffnung an den Nebentheilen des Gebäudes, über welche sich nicht leicht die Hauptableitung hinführen läßt, mittelst mit dieser in Verbindung gesetzter Bleistreifen von 3—6" Breite, welche sich bequem an die Firstziegel und an die Ecken anfügen und an die Schornsteine u. s. w. annageln lassen. Auch über die First des Daches können solche Streifen geführt werden, die durch Antreiben an alle Fügungen der Firstziegel und Einschlagen (am besten) bleierner Nägel in den Kalk der Fugen befestigt werden.

**) Man schreibt zwar der Auffangstange gewöhnlich auch noch die Funktion zu, daß sie durch ihre Spitze die Elektrizität der Gewitterwolke unmerklich ableite (d. h. daß — indem sie von den, durch vertheilende Wirkung dieser Wolke in der Erde hervorgerufenen Elektrizitäten die negative Elektrizität leicht ausströmen lasse, — die positive Elektrizität der Wolke allmälig neutralisirt werde) und so einen starken, mindestens Schrecken verursachenden Wetterschlag gänzlich abwehre. Aber die Erfahrung steht mit dieser Voraussetzung nicht im Einklange, denn häufig schlägt der Blitz in die Spitzen der Auffangstangen, und man findet dann das Gewitter dadurch nicht geschwächt; auch ist nicht einzusehen, wie die verhältnißmäßig kleine Elektrizitätsmenge, welche aus

Bei Weglassung der Auffangstangen wird der ganze Blitzableiter und die Aufstellung desselben einfacher und weit wohlfeiler. Ableiter aus Kupferstreifen oder Drahtseilen haben vor den eisernen die großen Vorzüge, daß sie Dächer und Mauern der Gebäude bei weitem nicht so stark belasten, wie die massiven Stangen oder Schienen aus Eisen; daß sie leicht alle durch die Ecken und Vorsprünge des Gebäudes gebotene Biegungen annehmen, während sich die Eisenstangen oder Eisenschienen nur im Feuer, oder kalt nur durch solche Gewalt mit diesen Biegungen versehen lassen, daß sie dabei nicht selten Risse bekommen, die das allmälige Rosten der Stange oder Schiene durch und durch und die Zerstörung derselben an den betreffenden Stellen zur Folge haben. Kupferstreifen und Drahtseile können ferner ohne die zur Aufstellung eiserner Ableiter immer erforderlichen besondern und kostspieligen Gerüstungen auf jedem nicht allzu weitläufigen Gebäude von einem geschickten Schlosser leicht in einem Tage angelegt und in eben so leichter und wohlfeiler Art stets in gutem Stande erhalten werden; und endlich sind auch die Anschaffungskosten, vorzüglich bei Ableitern aus Drahtseilen, viel (um $\frac{1}{3}$—$\frac{1}{2}$) geringer.

Den Schluß über Blitzableiter sollen noch folgende allgemeine Bemerkungen machen. Kein Theil eines Blitzableiters braucht, vorausgesetzt, daß letzterer die gehörige Einrichtung, namentlich in seiner ganzen Ausdehnung die nöthigen Dimensionen hat, isolirt zu werden. An mit Metall gedeckten Gebäuden kann die Bedeckung des Daches selbst die Ableitung für letzteres bilden, und eben so können die metallenen Wasserrinnen der Gebäude, wenn anders durch sie auch die anderen Bedingungen einer guten Ableitung erfüllt sind, zu dieser letzteren benützt werden. Blitzableiter aus Strohseilen, welche La Postolle empfahl, sind ein Unding, was nach den vorhergehenden Betrachtungen schon aus dem einzigen Umstande erhellet, daß Strohseile, weit entfernt gute Leiter zu sein, vielmehr den Isolatoren sehr nahe stehen.

Hagelableiter. Als solche wurden, offenbar in der Voraussetzung, daß Volta's Hageltheorie die richtige ist, in die Luft emporragende und mit der Erde leitend verbundene Eisenstangen vorgeschlagen. Diese müßten, sollen sie ihren Zweck erfüllen, entweder die Bildung des Hagels in den Wolken durch Ableitung der Elektrizität aus diesen unmöglich machen, oder wenn er bereits gebildet ist, das Herabfallen desselben in der Gegend, wo sie errichtet sind, verhüten. Ersteres können sie nicht leisten, weil ihre die Elektrizität ableitende Wirkung sich nicht bis zu jenen hochschwebenden Wolken zu erstrecken vermag, in welchen die Bildung des Hagels stattfindet; ist aber der Hagel gebildet und es senken sich die hagelschweren Wolken so tief herab, daß für deren, die Eiskörner in ihnen zurückhaltende Elektrizität die besagten Eisenstangen als Ableiter wirksam werden können, so muß dies offenbar ein um so sichereres Herabfallen dieser Körner zur nothwendigen Folge haben, so daß die Eisenstangen dann vielmehr Zuleiter als Ableiter des Hagels sind. So wie diese theoretischen Gründe sprechen gegen die in Rede stehenden Hagelableiter auch die Ergebnisse der Erfahrung, welche lehrt, daß die mit solchen Ableitern versehenen Felder nicht weniger vom Hagel heimgesucht werden, als die andern und daß es in Wäldern und Städten eben so oft, wie auf den besagten Feldern hagelt, obgleich die unzähligen Bäume in ersteren, und die vielen Blitzableiter, Thurmspitzen

---

der Spitze ausströmen kann, auf die große, im enormen Spannungszustande in der Wolke vorhandene Elektrizitätsquantität in der angegebenen Art schwächend einzuwirken vermöge, ohne durch diese unter Anziehung stattfindende Einwirkung die Wolke gerade um so eher zur momentanen Entladung zu veranlassen. Die andererseits häufig herrschende Ansicht, Auffangstangen seien schädlich, weil sie durch die eben erwähnte Anziehung, welche von ihnen ausgeht, die Gewitterwolken heranziehen, wird dadurch entkräftet, daß, der Erfahrung gemäß, Gebäude, die mit Auffangstangen versehen sind, nicht häufiger vom Blitze getroffen werden, als andere, wo keine solchen Stangen vorhanden sind, daß ferner die Anziehung auch des besten Ableiters seiner geringen Masse wegen, sich nicht weit genug erstrecken könne, um entferntere Wolken herbeizuziehen oder die Richtung ihrer Entladung zu bestimmen und daß endlich für den Fall, der Ableiter wäre wegen Nähe der Gewitterwolke wirklich den Blitz anzuziehen im Stande, dieser dann nur um so sicherer schadlos der Erde zugeführt würde.

u. s. w. in letzteren, den Wolken ihre Elektrizität ungleich besser entziehen müßten, als dieses durch die möglich größte Zahl von Hagelableitern geschehen kann. Noch weit ungünstiger ist die Theorie und die Erfahrung den Hagelableitern aus Strohseilen, die ebenfalls empfohlen wurden und vorzüglich in einigen Gegenden Italiens noch heut zu Tage Anhänger zu haben scheinen.

280. Kurze Betrachtung noch anderer, jedoch für technische Zwecke minder wichtiger Elektrizitätsquellen. Es sind dies: 1. Druck. Jede durch Zusammendrücken eines Körpers bewirkte Annäherung seiner Theile ist mit Elektrizitätsentwicklung verbunden. Vorzüglich zeigt sich dies am Kalkspathe, welcher, wenn man ihn auch nur zwischen den Fingern zusammendrückt, am Elektroskope positiv elektrisch erscheint. Werden zwei Körper an einander gedrückt, so zeigen sich nachher beide und zwar entgegengesetzt elektrisch, vorausgesetzt, daß sie, wenn auch nur in Bezug auf Temperatur, ungleichartig sind, und, falls sie nicht zu den schlechten Elektrizitätsleitern gehören, beim Aneinanderdrücken an isolirenden Handgriffen gehalten wurden. So wird z. B. eine mit einem angeklebten Siegellackstücke als Handgriff versehene Korkscheibe durch Andrücken an Kautschuk deutlich positiv und letzterer zugleich negativ elektrisch, und von zwei gegen einander gedrückten Korkstücken, wovon das eine vorher erwärmt worden, zeigt dieses —E, das andere +E. Die Menge der durch Druck frei werdenden Elektrizität hängt von der Materie, der Leitfähigkeit, der Temperatur, der Oberflächebeschaffenheit der zusammengedrückten Körper, und von der Stärke des Druckes ab; sie nimmt namentlich mit letzterem zu.

2. Trennung der Körpertheile. Spaltet man ein Glimmerblatt an einem Ende, klebt an jedes der zwei an diesem Ende getrennten Blätter ein Siegellackstück fest, und vollführt mittelst dieser Siegellackstücke (als Handgriffe) die gänzliche Trennung der beiden Blätter; so zeigt dann am Elektroskope das eine Blatt +E und das andere —E. Wie Glimmer verhalten sich alle krystallisirten Körper, die regelmäßige Theilbarkeit besitzen. Auch das beim Zerstoßen des Zuckers, der Kreide u. s. w. im Dunkeln oft deutlich wahrnehmbare Licht ist elektrischer Natur.

3. Chemische Verbindung und chemische Scheidung. Jeder solche Prozeß (**9**) ist von Elektrizitätsentwicklung begleitet. Zum Belege dessen können aus den unzähligen, in der Natur und in den Laboratorien Statt findenden derartigen Prozessen hier nur einige beispielsweise angeführt werden. Bei der Verbrennung der Körper (d. i. bei der chemischen Verbindung derselben mit Sauerstoff oder einem andern Zündstoffe) erhält der verbrennende Körper immer die eine und der das Verbrennen einleitende und unterhaltende Zündstoff, so wie das Verbrennungsprodukt die entgegengesetzte Elektrizität. So wird Kohle beim Verbrennen negativ und die dabei sich bildende Kohlensäure positiv elektrisch. Bringt man einen am obern Ende brennenden Cylinder aus gutleitender Kohle am untern Ende in größerer Fläche mit der Collektorplatte eines guten Condensators und gleichzeitig auch den Deckel des letzteren mit der Erde in leitende Verbindung, so zeigt sich der Condensator bald mit —E geladen, während derselbe deutlich +E zeigt, wenn man den oben brennenden und am untern Ende mit der Erde leitend verbundenen Kohlencylinder so unter eine horizontale, mit dem messingenen Collektor in Berührung gebrachte Messingplatte hält, daß die aufsteigende Kohlensäure (das Verbrennungsprodukt) gegen diese Platte trifft, (natürlich wieder unter ableitender Berührung des Condensatordeckels). Auch bei Scheidungen findet Elektritätsentwicklung statt, welche sich gleichfalls durch entsprechende Versuche am Condensator nachweisen läßt. So zeigt sich bei Abdampfung der Lösungen von Alkalien in Wasser der Dampf positiv und das zurückbleibende Alkali negativ elektrisch, und bei sauren Lösungen ist das Umgekehrte der Fall, während beim Verdampfen von reinem, destillirtem Wasser keine Elektrizitätsentwicklung Statt findet.

Die in Rede stehende, bei chemischen Vorgängen unzweifelhaft immer vor sich gehende Elektrizitätserregung führte zu der von Fabroni zuerst aufgestellten, von Parrot, Wollaston, Faraday und vorzüglich von de la Rive vertheidigten Hypothese, daß die Quelle der galvanischen Elektrizität nicht in dem Contacte der betreffenden Stoffe und der durch diesen Contact geweckten elektromotorischen Kraft, sondern in den chemischen Wirkungen zu suchen sei, welche in den Volta'schen Ketten statt finden. Nach dieser chemisch elektrischen Hypothese ist die in jeder geschlossenen Volta'schen Kette vor sich gehende chemische Action der Flüssigkeiten und Metalle auf einander u. s. w. die Ursache und nicht die Wirkung des elektrischen Stromes und selbst die Elektrizitätserregung, wie sie der Volta'sche Fundamentalversuch nachweist, wird als Folge einer chemischen Einwirkung des Sauerstoffs der Luft auf das Zink angesehen. Widersprüche, in welche die Vertheidiger dieser chemisch elektrischen und jene der Contacthypothese gegeneinander geriethen, waren Veranlassung zu einem lange und hartnäckig geführten Streit. Obgleich bis auf den heutigen Tag die Gelehrten sich noch keineswegs alle für die eine oder die andere der beiden Hypothesen entschieden haben, so zählt doch die Contacthypothese unstreitig die meisten und gewichtigsten Physiker zu ihren Anhängern, weswegen wir hier nicht weiter in das eigentliche Wesen der chemisch-elektrischen Hypothese eingehen.

4. Vegetations- und Lebensprozeß. Pouillet hat an vielen Pflanzen, während ihres Keimens und Wachsens in isolirten Gefäßen, Elektrizitätsentwicklung am Condensator beobachtet, und zur Zeit der lebhaftesten Vegetation sah er Pflanzen sogar Funken von sich geben. Die Haare von Katzen, Pferden und anderen Thieren, ja selbst von jungen Personen sind ohne äußere Veranlassung oft so stark elektrisch, daß sie zu Folge Abstoßung sich sträuben. Eine vorzüglich ergiebige Quelle thierischer Elektrizität ist der Organismus gewisser Fische, welche deswegen auch elektrische Fische heißen. Als solche sind bis jetzt vorzüglich bekannt: 1) Der Zitterrochen (**Raja Torpedo**), der Zitteraal (**Gymnotus electricus**) und der Zitterwels (**Silurus electricus**), wovon der erste im mittelländischen und atlantischen Meere, selten in der Nordsee, der zweite in den Landseen von Südamerika und der dritte im Nile und andern Flüssen Afrika's zu Hause ist. Nur die zwei ersten wurden bis jetzt genauer untersucht. Sie sind mit eigenen Organen versehen, die in der Beschaffenheit und Anordnung ihrer Bestandtheile eine große Aehnlichkeit mit einer Volta'schen Säule haben, und elektrische Ströme liefern, welche ganz so wie die Volta'schen Ströme kräftige Erschütterungen, Licht-, Wärme- und magnetische, inducirende und chemische Wirkungen hervorbringen. Es besteht das Organ in der Wesenheit aus einer Menge polygonaler oder rundlicher Säulchen, welche durch, wahrscheinlich zur Isolirung der einzelnen Säulchen dienende dichte Membrane von einander getrennt sind, und deren jedes aus einer großen Zahl über einander geschichteter Blättchen gebildet ist, zwischen welchen gleichsam wie in den Zellen einer Volta'schen Batterie eine (gallertartige) Flüssigkeit enthalten ist. Der Ziterrochen hat zwei solche Organe, die vom Kopfe an, der Hälfte des Körpers entlang und zu beiden Seiten des Rückgrates unmittelbar unter der Haut liegen, und die einzelnen Säulchen haben die Richtung vom Rücken gegen den Bauch hin. Der Zitteraal besitzt 4 elektrische Organe, die sich fast den ganzen Körper entlang bis ans Ende des Schwanzes erstrecken, und bei denen die einzelnen Säulchen diese nämliche Richtung haben.

Berührt man den Zitterrochen mit der Hand an irgend einem Theile der Haut, so erhält man einen Schlag. Dieser ist bei gleichzeitiger Berührung des Thieres am Rücken und am Bauche oder nahe am Kopfe und am Schwanze so stark, daß er durch eine Kette von mehreren, ja 20, sich die Hände gebenden Personen noch deutlich fühlbar hindurchgeht, besonders wenn die Berührung mittelst Metallplatten (am

besten Silberplatten, um Oxydirung zu verhüten) geschieht, welche von den berührenden Personen in den Händen gehalten werden und eine große Berührungsfläche mit den genannten Theilen des Fischkörpers gestatten. Um die andern oben aufgezählten Wirkungen des thierelektrischen Stromes hervorzubringen, ist die Berührung des Fisches an den besagten Stellen, am besten, wenn er vorher gereizt worden, mittelst Silberplatten vorzunehmen, die an isolirten Handhaben gehalten werden, und mit demjenigen Körper (einem Multiplikator, einer Drahtspirale, die einen Eisenkern enthält, einem Zersetzungsapparate u. s. w.) in leitender Verbindung stehen, durch den der Strom geführt werden soll. Noch weit stärkere elektrische Kraftäußerungen als der Zitterrochen gibt, offenbar der größeren Ausdehnung seines elektrischen Apparates wegen, der Zitteraal. Sie gehen, was beim Zitterrochen nicht der Fall ist, auch durch eine dünne Luftschichte von einem Leiter zum andern über, wobei dann ein Funke erscheint. Die kräftigste Wirkung erhält man bei Berührung des Zitteraals einerseits nahe am Kopfe und andererseits am Ende des Schwanzes. Mit der Abweichung von diesen Stellen nimmt auch die Wirkung ab.

Ueber thierische Elektrizität haben unsere Kenntnisse in neuester Zeit eine große Erweiterung durch die Untersuchungen von Du Bois Reymond erhalten (man sehe dessen großes Werk: „Untersuchungen über thierische Elektrizität," Berlin 1848 und 1849). Dieser Gelehrte lieferte wichtige Beiträge, betreffend die Existenz und Gesetzmäßigkeit des Froschstromes, dessen elektromagnetische Wirkung Nobili zuerst (1827) darthat und dessen schon auf S. 444 in der Anmerkung Erwähnung geschah; er führte den Froschstrom auf einen allgemein vorhandenen Muskelstrom zurück, indem er, und zwar durch Versuche an Muskeln von Menschen und von verschiedenen Thieren nachwies, daß von je zwei verschiedenen Punkten eines natürlichen oder künstlichen Längenschnittes und eben so von je einem Punkte des Längenschnittes und einem Punkte eines natürlichen oder künstlichen Querschnittes eines Muskels ein Strom erhalten wird, ... (†), daß der Strom im letzteren Falle stärker sei als im ersteren, auch bei Streckung und Compression des Muskels schwächer werde und nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Muskels vom Gesammtorganismus immer mehr abnehme; er stellte ferner auch die allgemeine Existenz von Nervenströmen außer Zweifel und fand für diese Ströme, und zwar wieder durch Versuche an Menschen und an verschiedenen Thieren, dasselbe Gesetz (†), wie für die Muskelströme u. s. w.

III. Abschnitt.

Vom Lichte.

281. Begriff des Lichtes und dessen Wirkung im Allgemeinen. Licht ist die objektive (außer uns gelegene) Ursache des Sehens (der Wahrnehmung der Gegenstände vermittelst des Gesichtsorganes). Zum Sehen eines Gegenstandes ist nämlich nebst dem Gesichtsorgane und der Gegenwart dieses Gegenstandes noch erforderlich, daß letzterer sich in einem gewissen Zustande befindet, den man das Leuchten oder die Helligkeit des Gegenstandes nennt und in welchen er durch das Licht versetzt wird. In diesem Zustande bringt er dann vermittelst der Augen in uns die eigenthümliche Empfindung des Sehens hervor. Außerdem übt aber das Licht auch noch erwärmende und chemisch wirkende Kraft (wovon an andern Orten die Rede sein wird) und ist Bedingung der Existenz oder wenigstens des Gedeihens unzähliger Thier- und Pflanzenkörper.

282. Natur des Lichtes. Ueber die eigentliche Natur des Lichtes konnte man bis jetzt noch nicht zur Gewißheit gelangen. Unter den Hypothesen, die hierüber seither aufgestellt wurden, hat die von Huyghens, Descartes und Euler geschaffene, in neuerer und neuester Zeit von Young, Fresnel, Fraunhofer, Herschel, Airy, Cauchy, Mac-Cullagh, Neumann u. s. w. ausgebildete, sogenannte Vibrations- oder Undulations-Hypothese heut zu Tage allgemein und entschieden den Vorrang erhalten. Nach dieser Hypothese entsteht das Sehen dadurch, daß die Theilchen der leuchtenden (gesehenen) Körper sich in einer vibrirenden (schwingenden) Bewegung befinden, welche durch ein eigenes, den ganzen Weltraum erfüllendes, elastisches Mittel, Aether genannt, bis zu unserem Auge, durch den auch in diesem Organe vorhandenen Aether zum Sehnerv fortgepflanzt, dadurch auf diesen eingewirkt und so die Empfindung des Sehens hervorgerufen wird. Von dem Aether wird vorausgesetzt, daß er ein unendlich feiner Stoff sei, welcher alle Körper durchdringt und die Zwischenräume der Molekel einnimmt, wohl Trägheit aber keine Schwere besitzt und der Bewegung der Planeten und anderer Weltkörper kein Hinderniß in den Weg setzt; daß seine Theilchen auf einander abstoßend, (vielleicht zugleich auch anziehend) wirken und durch ähnliche Molekularkräfte auch mit den kleinsten Theilchen der Körper in Wechselwirkung stehen; daß die Aethertheilchen durch die ponderable Materie (die Körper) in Bewegung gesetzt werden können und daß, — wenn ein Theil des Aethers eine Bewegung erhält, dieser die Bewegung den zunächst liegenden Theilen mittheilt und so die Bewegung den für elastische Flüssigkeiten geltenden mechanischen Gesetzen zu Folge nach allen Richtungen wellenförmig fortgepflanzt wird, — die Aethertheilchen senkrecht auf die Richtung der Wellenfortpflanzung schwingen. (Es finden zwar auch Aetherschwingungen in der Richtung der Fortpflanzung Statt; dieselben verschwinden aber gegen die ersteren in Beziehung auf Wirkung.) Das Weitere über diese Hypothese wird später, bei der Detailerklärung der Haupt-Lichtphänomene, nachdem wir diese werden kennen gelernt haben, folgen.

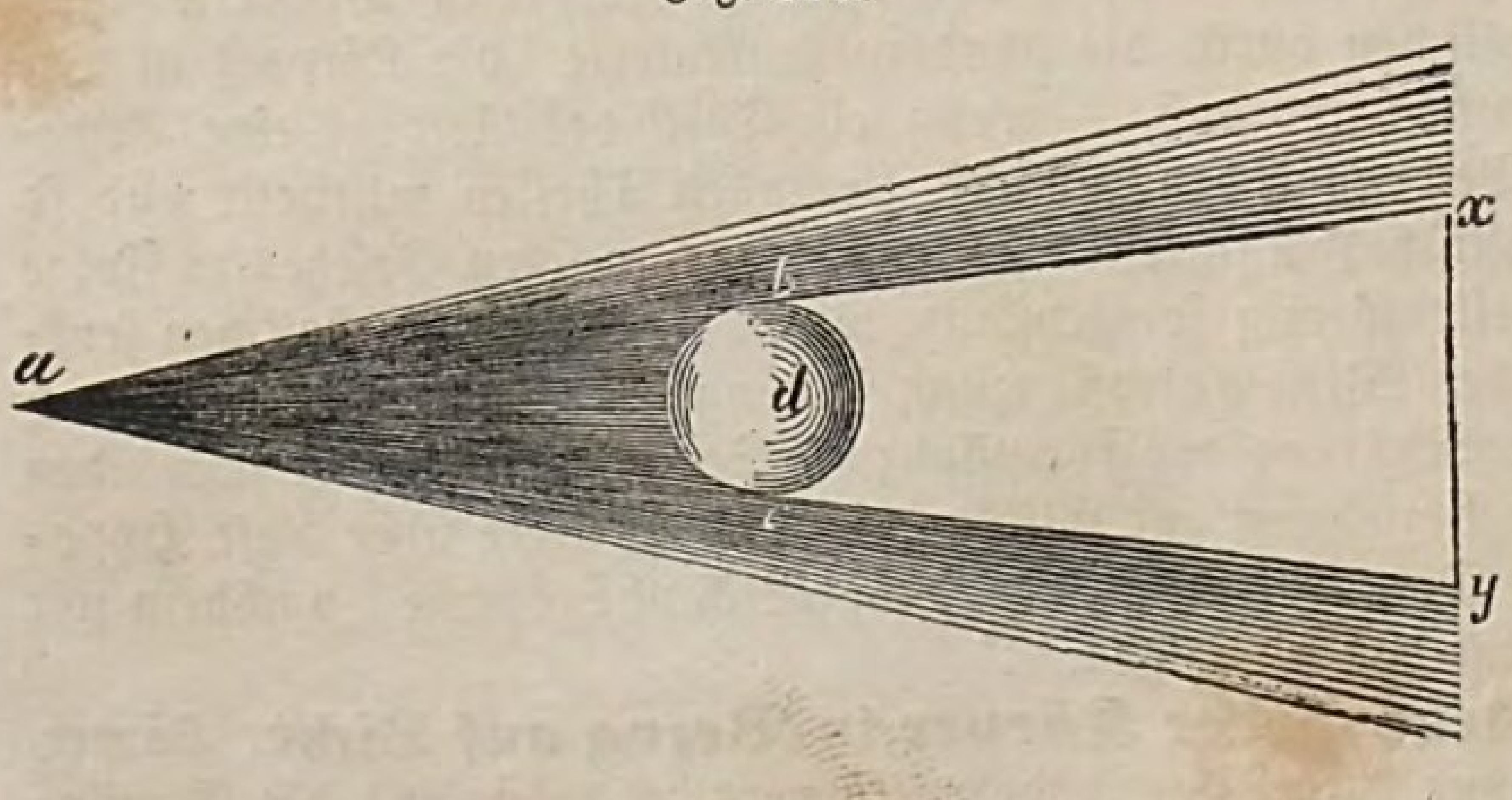
283. Verschiedenheit der Körper in Bezug auf Licht. Körper, welche durch sich selbst (ohne dazu eines andern Körpers zu bedürfen) die Empfindung von Helligkeit oder Licht hervorzubringen vermögen, heißen selbstleuch-

tende. Solche sind die Sonne, die Firsterne, vielleicht auch die Kometen, dann die brennenden und phosphoreszirenden Körper (faules Holz, die Johanneskäferchen ꝛc.) und die Elektrizität in Gestalt von Funken. Körper hingegen, welche für sich allein nicht hell erscheinen (nicht sichtbar sind), wenn auch das Auge auf sie gerichtet ist, heißen dunkel; wenn sie aber zu Folge Anwesenheit eines andern, im Zustande der Helligkeit befindlichen Körpers sichtbar werden, nennt man sie beleuchtet. Manche Körper lassen die Wirkung des Lichtes durch sich hindurch, hindern daher das Sehen und die Beleuchtung anderer Gegenstände nicht, wenn sie sich zwischen diesen und dem Auge befinden und werden deswegen durchsichtig genannt, wie die Luft, Wasser, Glas; während die Körper bei entgegengesetztem Verhalten undurchsichtig heißen, wie die Metalle in dickeren Schichten u. s. w. Die Durchsichtigkeit hat verschiedene Grade; weniger durchsichtige Körper nennt man durchscheinend. Dies sind alle undurchsichtigen Stoffe in hinreichend dünnen Schichten.

284. Richtung der Fortpflanzung des Lichtes. Befindet sich ein undurchsichtiger Körper so zwischen einem leuchtenden Punkte und unserem Auge, daß eine von ersterem (dem leuchtenden Punkte) zu letzterem (dem Auge) gezogene gerade Linie durch den undurchsichtigen Körper geht; so macht dieser den leuchtenden Punkt unsichtbar, verhindert also, daß die Wirkung des Lichtes von ihm ins Auge gelange. Dies, so wie die bekannte Erfahrung, daß man nicht durch eine krumme Röhre (aus undurchsichtigem Materiale) und eben so wenig durch drei Oeffnungen hindurch sehen könne, die in drei, etwas entfernt hintereinander stehenden Metallplatten angebracht sind, ausgenommen in dem Falle, wo diese Oeffnungen in gerader Linie liegen, beweist hinlänglich, daß die Wirkung des Lichtes in einem und demselben (überall gleichartigen) durchsichtigen Mittel nach gerader Richtung vor sich gehe, oder daß, wie man sich auszudrücken pflegt, das Licht sich geradlinig fortpflanze. Jede gerade Linie, nach welcher eine Lichtfortpflanzung vor sich geht, heißt ein Lichtstrahl. Da ein leuchtender Punkt bei jeder Lage des Auges gegen ihn gesehen wird, vorausgesetzt, daß das Licht nicht durch die Dazwischenkunft eines undurchsichtigen Körpers oder auf irgend eine andere Art aufgehalten werde, so muß die Wirkung des Lichtes sich nach allen Richtungen fortpflanzen und es stellt daher jede von einem leuchtenden Punkte ausgehende gerade Linie einen Lichtstrahl dar.

Aus der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes folgt nun unter Andern nothwendig, daß es hinter jedem undurchsichtigen Gegenstande, der sich in dem von einer Lichtquelle beleuchteten Raume befindet, und zwar auf der von der Lichtquelle abgewendeten Seite des Gegenstandes, Stellen geben müsse, in welche das Licht der besagten Quelle nicht gelangen kann und welche Schatten heißen. Ist die Lichtquelle blos ein leuchtender Punkt, wie a in Fig. 516,

Fig. 516.

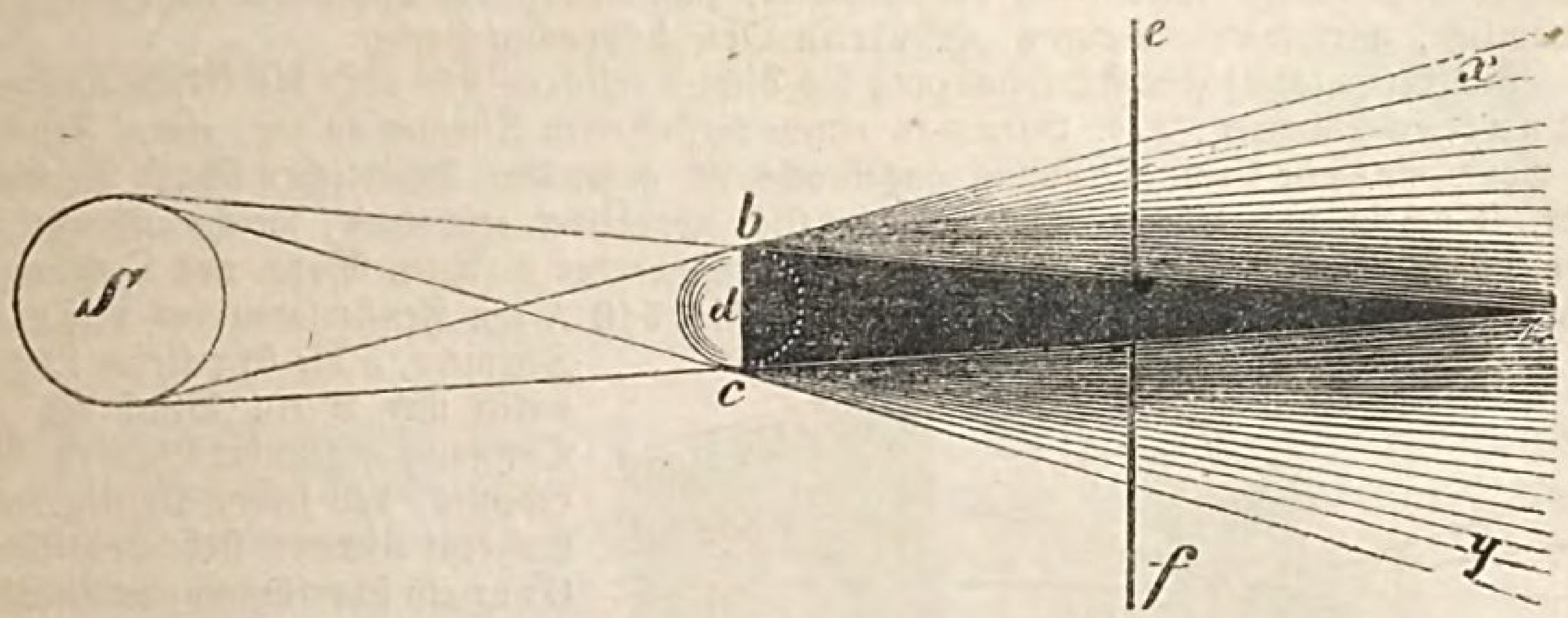


so kann von derselben kein einziger der nach allen Richtungen ausfahrenden (in der Zeichnung durch die geraden Linien dargestellten) Lichtstrahlen in den konischen Raum b c y x gelangen, welcher durch die den Umfang der undurchsichtigen Kugel d berührenden Strahlen (wie durch ax und ay) begrenzt wird, und welcher, wenn er nicht von einer andern Quelle her Licht erhält, ganz finster erscheinen muß. (Finsterniß ist nämlich Abwesenheit alles Lichtes.) Man

nennt einen Schattenraum, welcher gleich dem Raume bxyc von der betreffenden Lichtquelle gar keinen Strahl empfängt, so wie jeden Theil und Durchschnitt desselben, **Kernschatten**.

Ist die Quelle des Lichtes ein leuchtender Körper, z. B. eine Kugel (S in Fig. 517), so besteht der hinter dem undurchsichtigen Körper (z. B. wieder einer Kugel d) gebildete Schatten bcyx immer aus einem Theile, in welchen von keinem Punkte des leuchtenden Körpers

Fig. 517.



Licht kommen kann, d. h. aus einem Kernschatten — (dies ist in der Figur der Kegelraum bcz) — und dann aus einem Theile, welcher von einigen Punkten des leuchtenden Körpers Licht empfängt, von andern aber nicht, welcher den Kernschatten umgibt, weniger dunkel und nicht so wie dieser überall gleich dunkel erscheint, sondern vom Kernschatten nach auswärts an Dunkelheit allmälig immer mehr abnimmt, und endlich in den von allen Punkten der Lichtquelle beleuchteten Raum unmerklich übergeht. In der Figur 517 ist xbz und zcy der Halbschatten und die Figur 518 stellt den Gesammtschatten dar, wie er, mit einem Schirme ef aufgefangen, erscheinen würde. Man sieht, daß im vorliegenden Falle mit der Entfernung vom leuchtenden Körper der Querschnitt des Kernschattens ab-, jener des Halbschattens hingegen zunimmt; daß der Kernschatten ganz nahe am undurchsichtigen Körper nur von einem sehr schmalen Halbschatten umgeben, demnach daselbst ziemlich scharf begränzt ist, während mit der Entfernung vom schattenwerfenden Körper der Halbschatten immer breiter wird, mithin die Begrenzung des Kernschattens an Schärfe abnimmt. Ueber eine gewisse Entfernung (in der Figur über z) hinaus hört der Kernschatten ganz auf und der an Breite stets zunehmende Halbschatten wird immer unbestimmter und schwächer. Daß in dem Falle, wo die Lichtquelle ein leuchtender Körper von kaum merklicher Ausdehnung ist, auch der Halbschatten besonders in der Nähe des schattenwerfenden Körpers unmerklich sein, also wie bei einem einzigen Punkt als Lichtquelle nur ein Kernschatten erscheinen werde, ist für sich klar. Eben so leuchtet ein, daß, der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes gemäß, die Form des Schattens durch die Gestalt des leuchtenden und des schattenwerfenden Körpers, durch die Stellung des ersteren gegen den letzteren, so wie durch die Beschaffenheit (Krümmung) und Lage der ihn auffangenden Fläche bestimmt werde . . . (†), und daß bei bekannter Größe, Form und Lage der genannten Körper die Gestalt und Lage des Schattens sich immer geometrisch konstruiren lasse. Ferner hängt offenbar das Verhältniß der Länge des Schattens zu jener des schattengebenden Gegenstandes unter übrigens ganz gleichen Umständen blos von der Stellung der Lichtquelle gegen den letzteren ab, und es wird daher z. B. die Länge L des Schattens, den ein von der Sonne beschienener Baum oder Thurm o. dgl. auf den Boden wirft, sich zur Höhe x dieses Baumes oder Thurmes o. dgl. ebenso verhalten, wie die Länge l des Schattens, den ein in der Nähe des Baumes oder Thurmes o. dgl. vertikal aufgestellter Stab gleichzeitig am Boden gibt, sich zur Länge λ des Stabes verhält, so daß $L : x = l : \lambda$ ist, und man kann daher, — da sich die beiden Schattenlängen L, l messen lassen, — mittelst eines Stabes von bekannter Länge λ, etwa mittelst eines Maßstabes, leicht die unbekannte Höhe x des Baumes oder Thurmes o. dgl. finden. Auf dem oben unter (†) erwähnten Zusammenhange zwischen Lichtquelle, schattengebenden Körper u. s. w. beruht das Abnehmen der Schattenrisse und das chinesische Schattenspiel. **Schattenrisse** sind genaue Umrisse undurchsichtiger Körper, insbesondere genaue Figuren der Profile menschlicher Gestalten, welche durch Bezeichnung der Grenzen des Schattens erhalten werden, den ein solcher Körper auf eine Ebene wirft, vorausgesetzt, daß die Lichtquelle blos ein leuchtender Punkt ist und eine diesen Punkt und den undurchsichtigen Körper verbindende, bis zur beschatteten Ebene verlän-

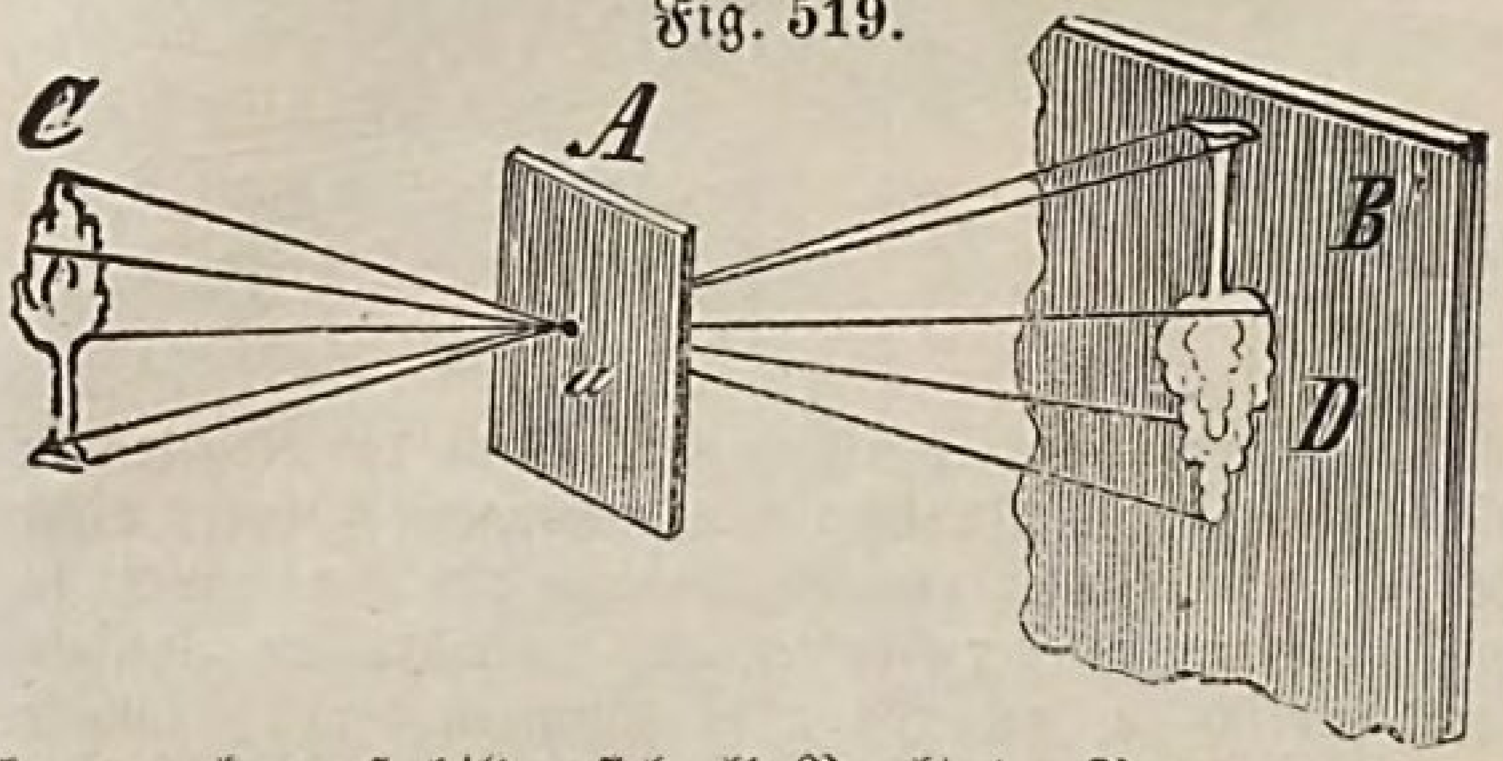
Fig. 518.



gerte gerade Linie auf letzterer lothrecht steht, ferner daß, falls das Licht von einem leuchtenden Körper kömmt, dieser keine große Ausdehnung hat und der schattengebende Gegenstand dann möglichst nahe an der beschatteten Ebene sich befindet. Bei dem chinesischen Schattenspiele werden von undurchsichtigen Körpern genaue Schattenfiguren dadurch in verschiedenen Größen und Bewegungen erscheinen gemacht, daß man die Entfernung und sonstige Lage der Lichtquelle gegen den betreffenden undurchsichtigen Körper in entsprechender Weise verschieden abändert. Eine andere Anwendung der Schatten, zum Messen der Lichtstärke leuchtender Körper nämlich, wird später an einem passenderen Orte besprochen werden.

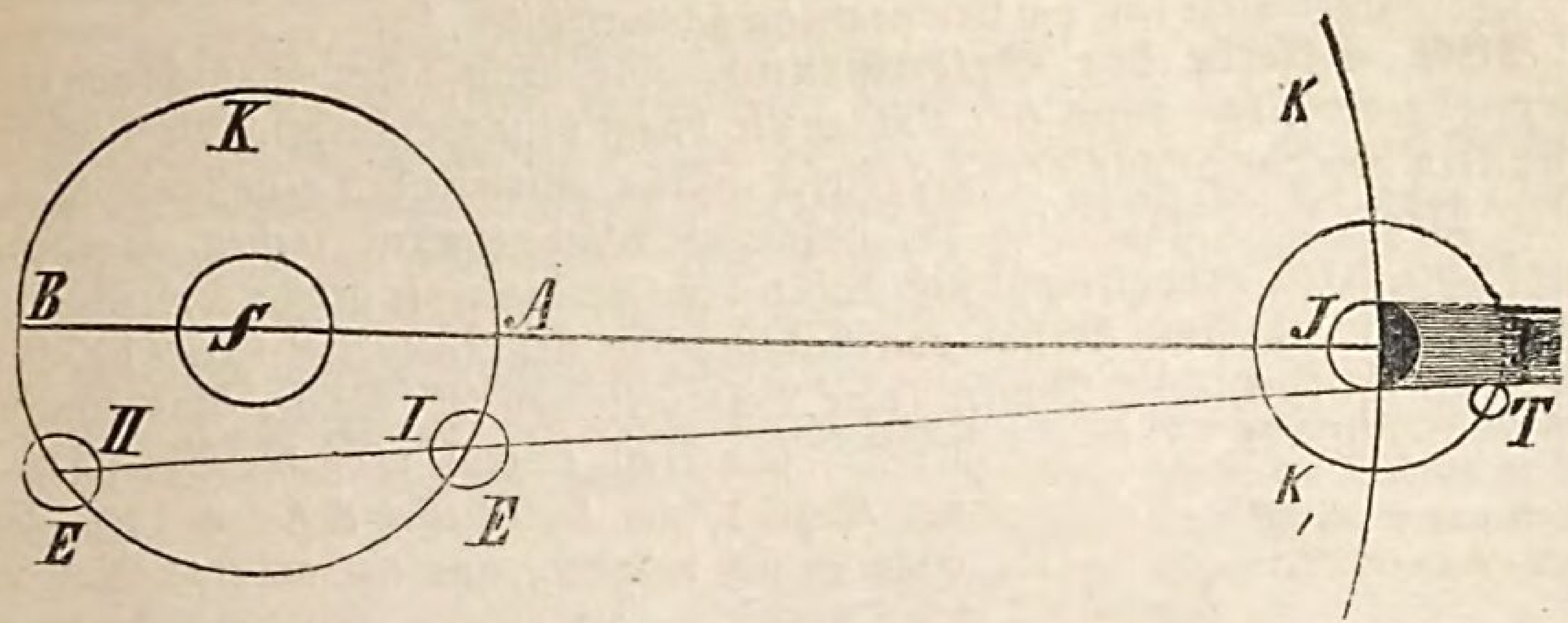
Aus der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes erklären sich auch die Erscheinungen in der dunkeln Kammer, d. i. warum in einem verfinsterten Zimmer an der, einem Fensterladen, worin eine sehr kleine Oeffnung angebracht ist, gegenüber befindlichen Wand die Gegenstände, jedoch in umgekehrter Stellung, deutlich abgebildet erscheinen, welche außerhalb des Zimmers und in hinreichend stark beleuchtetem Zustande der besagten Wand und Oeffnung gegenüber vorhanden sind. Da nämlich, wenn in Fig. 519 A den Fensterladen des verfinsterten Zimmers, a die sehr kleine Oeffnung darin und B ein Stück der dieser Oeffnung gegenüberstehenden Wand bedeutet, von jedem Punkte des außer dem Zimmer stehenden Baumes C nur ein scharfbegrenzter Lichtstrahl durch die Oeffnung a auf die Wand B gelangen und an die Stelle dieser letzteren, wo ein solcher von einem bestimmten Punkte des Baumes ausgehender Strahl eintrifft, kein Strahl von irgend einem andern Punkte hinkommen kann, so bilden sich alle Punkte des Baumes neben einander scharf ab und man sieht daher ein deutliches Bild D der ganzen dem Fensterladen zugekehrten Fläche von C auf B, nur umgekehrt, wie dies aus dem in der Figur deutlich ersichtlichen Gange der Strahlen nothwendig folgt. In dem Maße als die Oeffnung a im Fensterladen an Größe zunimmt, können auf jeden Punkt der Wand B von mehreren außerhalb A gelegenen leuchtenden Punkten Strahlen gelangen, also an einer und derselben Stelle mehrere verschiedene Bilder entstehen, die sich gegenseitig stören, so daß die Bilder in der dunkeln Kammer immer undeutlicher werden, je größer man die Oeffnung a macht, und, wenn letztere eine gewisse Größe erreicht, gänzlich verschwinden. Auf die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes gründet sich endlich die so wichtige Lehre von der Perspektive, d. i. die Lehre, die Gegenstände und ihre einzelnen Theile so zu zeichnen, wie sie uns erscheinen, in deren Grundsätze einzugehen jedoch der beschränkte Umfang dieses Buches nicht gestattet.

Fig. 519.



285. Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Lichtes. Das Licht braucht zu seiner Fortpflanzung Zeit. Zwei Beobachter, die sich in verschiedenen Entfernungen von einem Gegenstande befinden, der plötzlich leuchtend wird, werden denselben nicht in den nämlichen mathematischen Zeitpunkte erblicken, sondern der entferntere später. Diese Zeitdifferenz ist aber bei den größten Unterschieden der Entfernungen, die auf der Erdoberfläche vorkommen, völlig verschwindend klein, tritt jedoch in dem unermeßlich ausgedehnten Himmelsraume deutlich hervor, und wurde zuerst von Römer an den Verfinsterungen der Jupiters-Trabanten nachgewiesen. Diese Verfinsterungs-Beobachtungen führten den genannten dänischen Astronomen zugleich auch zur Bestimmung der Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Lichtes, für welche er die ungeheuere Größe von nahe 42,000 geographischen Meilen in der Sekunde fand. Wie diese zwei Entdeckungen aus den besagten Verfinsterungen sich ergaben, hiervon soll das Folgende eine Vorstellung geben. Wie die Erde vom Monde, so wird auch der Jupiter von 4 Trabanten umkreiset, die ihn auf seinem Wege um die Sonne begleiten und deren Bahnen um den Jupiter herum mit der Bahn dieses letzteren um die Sonne sehr nahe in eine und dieselbe Ebene fallen. Es stelle demnach in Fig. 520 **S** die Sonne, der Kreis **K** die nahe kreisförmige Bahn, in welcher die Erde **E**, und k ein Stück der ebenfalls einem Kreise nahe kommenden Bahn vor, in welcher der Jupiter **J** um die Sonne läuft; ferner bezeichne der Kreis $\mathbf{k_1}$ die Bahn eines der 4 Trabanten des Jupiters um

Fige 520.



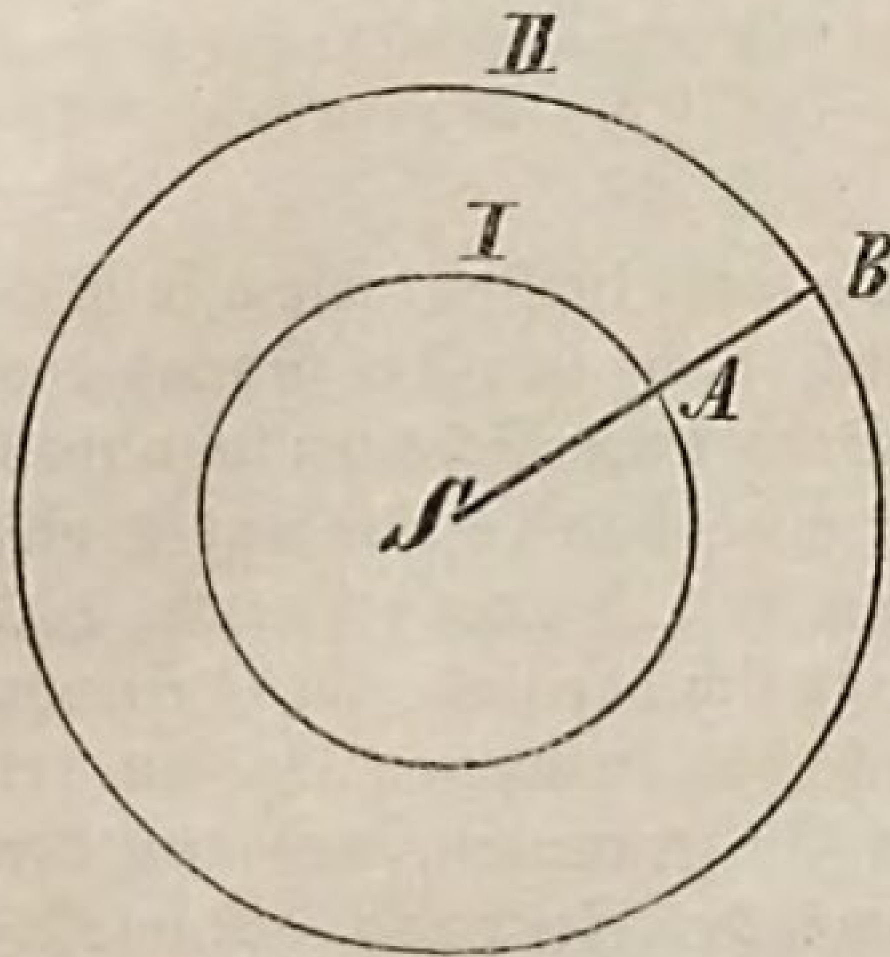
diesen letzteren herum und **T** den Trabanten selbst. Da der Jupiter, wie alle Planeten, an und für sich ein dunkler Körper ist, der sein Licht von der Sonne empfängt, so wirft er nach der von dieser abgewendeten Seite einen Schatten, von welchem **U** einen Theil vorstellen soll. In diesen Schatten wird nun der Trabant **T** und ebenso jeder der andern 3 Trabanten beim Umlaufe um den Jupiter eintreten, und dadurch, da die Trabanten gleich dem Jupiter selbst nur sichtbar sind, wenn sie von der Sonne Licht empfangen, verfinstert werden. Nach den bekannten Größen der Sonne und der Planeten, so wie ihrer gegenseitigen Entfernungen, und nach den bekannten Gesetzen der Planetenbewegung läßt sich immer der Zeitpunkt des wirklichen Eintrittes einer solchen Verfinsterung genau berechnen. Bei Beobachtung dieser Verfinsterung zeigt sich jedoch, daß sie immer später stattfindet als die Rechnung angibt, zum Beweis, daß das gerade vor dem Eintritte des Trabanten in den Jupitersschatten vom ersteren zuletzt ausgegangene Licht noch einige Zeit braucht, um zum Beobachter auf der Erde zu gelangen. Da ferner die Zeit, um welche die Verfinsterung später beobachtet wird, als sie wirklich stattfindet, (welche hindurch also das Licht zur Erde herab unterwegs ist), mehr beträgt, wenn die Erde vom Jupiter weiter entfernt ist, (wenn sie in ihrer Bahn z. B. an der Stelle **II** statt an der Stelle **I** sich befindet) und mit der stets genau berechenbaren Entfernung der Erde vom Jupiter im geraden Verhältnisse steht (desto mehr beträgt, je mehr sich die Erde bei der nämlichen Stellung des Jupiters aus ihrer geringsten Entfernung von demselben in **A** ihrem größten Abstande davon in **B** nähert); so folgt, daß die Bewegung des Lichtes eine g l e i c h f ö r m i g e sei, und es gibt die Division des vom Lichte in einer bestimmten Zeit durchlaufenen Weges durch diese Zeit (also in unserem Beispiele die Division der Entfernung des Ortes **II** von **I** durch die Größe, um welche die Verspätung der beobachteten Verfinsterung gegen die wirkliche am Orte **II** mehr beträgt als an **I**) die Geschwindigkeit des Lichtes. Nach zahlreichen und genauen Untersuchungen braucht das Licht, um den Halbmesser der Erdbahn, d. i. 20½ Millionen geogr. Meilen zu durchlaufen, also von der Sonne auf die Erde zu gelangen, 8 Minuten 13 Sekunden, woraus sich die im Eingange des Absatzes angegebene Geschwindigkeit des Lichtes von nahe 42000 geog. Meilen in der Sekunde ergibt.

F i z e a u hat in neuester Zeit die Geschwindigkeit des Lichtes auf einem von dem obigen ganz verschiedenen Wege bestimmt, und für sie nahe denselben Werth, nämlich 70,948 Lieues gefunden. Diese Geschwindigkeit übertrifft daher jene des Schalles beinahe 1 Million Mal, und die Geschwindigkeit, mit welcher die Erde ihren Lauf um die Sonne macht, über 10,000 Mal. Demungeachtet braucht das Licht, — um von dem nächsten Fixsterne, dessen Entfernung zwar, so wie die Entfernung der Fixsterne überhaupt, nicht bekannt ist, den Lehren der Astronomie zu Folge aber nicht weniger als 4 Billionen Meilen betragen kann, — zu uns zu gelangen, 3 Jahre und 45 Tage. Da es sicherlich Sterne gibt, von welchen, ihrer ungeheueren Entfernung wegen, das Licht erst nach Jahrhunderten auf der Erde ankömmt; so müßten, wenn auch alle

Sterne plötzlich vernichtet würden, unzählige derselben doch noch Jahre und wieder unzählige andere noch Jahrhunderte lang den Erdbewohnern sichtbar bleiben.

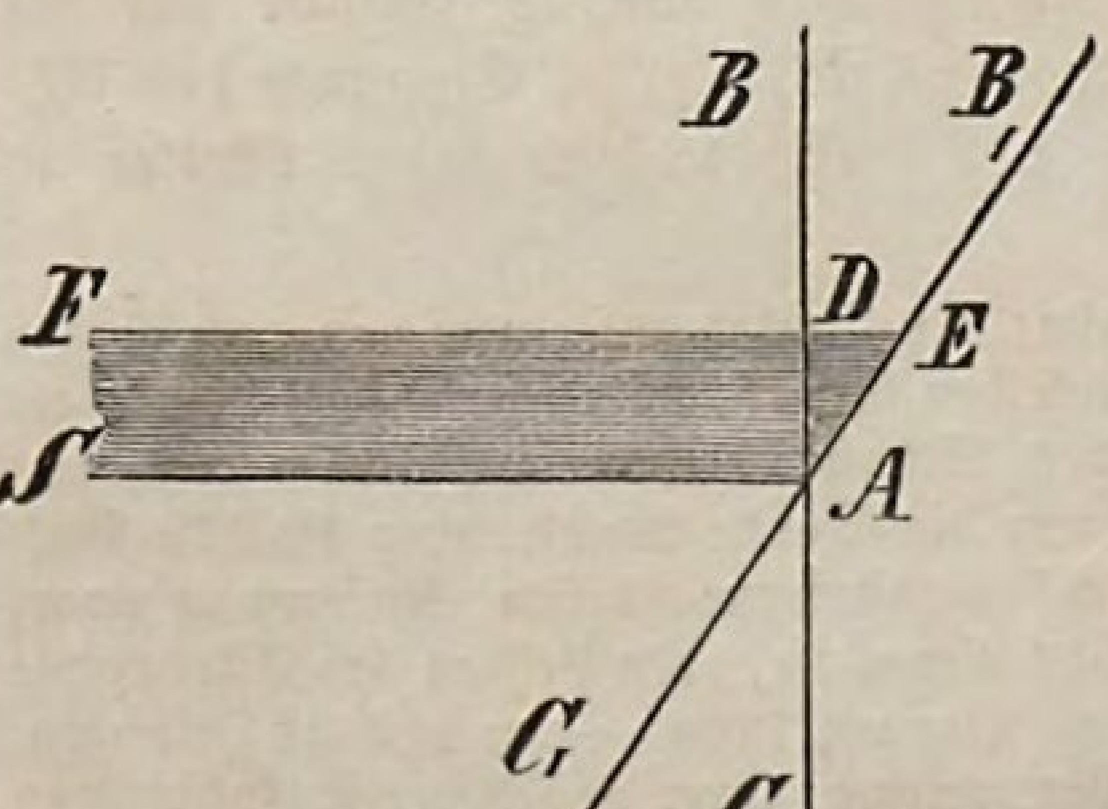
286. Stärke der Erleuchtung. Die Stärke der Erleuchtung (Beleuchtung) einer Fläche durch eine Lichtquelle hängt bei unveränderter Beschaffenheit der letzteren von der Dichte der auf dieser Fläche anlangenden Lichtstrahlen, d. i. von der Menge der Lichtstrahlen ab, welche die Flächeneinheit treffen, ist offenbar dieser Dichte direkt proportional und daher desto geringer, je größer die Fläche ist, auf welcher die nämliche Menge von Lichtstrahlen sich ausbreitet . . . (1). Ist **S** (Fig. 521) ein leuchtender Punkt, (eine Lichtquelle von sehr kleiner Ausdehnung), welcher sein Licht einmal über die Oberfläche einer Kugel **I** vom Halbmesser **SA**, in deren Centrum er sich befindet, und ein anderes Mal über die Oberfläche einer andern, mit der ersteren concentrischen Kugel **II** vom Halbmesser **SB** verbreitet, und stellen J und J_1 die Intensitäten vor, womit in den Oberflächen O, O_1 der kleineren und der größeren Kugel die Flächeneinheit (und jeder einzelne Punkt) beleuchtet wird; so hat man nach (1) $J : J_1 = O_1 : O$. Da ferner $O_1 : O = \overline{SB}^2 : \overline{SA}^2$ ist, (weil die Oberfläche einer Kugel dem Quadrate ihres Halbmessers proportional ist) und **SB**, **SA** zugleich die Entfernungen der beleuchteten Flächeneinheiten (oder Punkte) von der Lichtquelle darstellen; so folgt: $J : J_1 = \overline{SB}^2 : \overline{SA}^2$ und hiernach, daß die Stärke, womit das Licht einer gegebenen Lichtquelle die Flächenheit oder ein anderes Flächenstück beleuchtet (oder kurz ausgedrückt, die Intensität des Lichtes einer gegebenen Lichtquelle) in dem nämlichen Verhältnisse abnimmt, in welchem das Quadrat der Entfernung des besagten Flächenstückes wächst, so daß dieses unter sonst gleichen Umständen, 4mal, 9mal, 16mal u. s. w. schwächer beleuchtet wird, wenn man seine Entfernung von der Lichtquelle auf das Doppelte, Dreifache, Vierfache der ursprünglichen Entfernung vergrößert. Wenn daher von zwei Lichtquellen die eine aus einer 2, 3 . . . n mal größeren Entfernung, als die Entfernung der andern ist, eine eben so starke Beleuchtung, wie diese bewirkt, so muß sie offenbar eine 4, 9, . . . n^2 mal größere Leucht- oder Erleuchtungskraft besitzen als die zweite Lichtquelle . . . . (149)

Fig. 521.



Außer von der Entfernung der Lichtquelle hängt die Stärke der Beleuchtung einer Fläche unter sonst gleichen Umständen auch noch von dem Winkel ab, unter welchem das Licht die Fläche trifft und ist dem Sinus dieses Winkels proportional . . . (2). Zum Beweis dessen sei **SA** (Fig. 522) ein von einem leuchtenden Punkte herkommender und auf die Ebene **BC** senkrecht auffallender Strahl, und **AD** sei ein so kleines Stück dieser Ebene, daß man alle vom leuchtenden Punkte auf dasselbe gelangenden Strahlen als zu **SA** parallel annehmen kann, es also von einem Bündel **SADF** paralleler Strahlen getroffen wird. Bringt man die Ebene **BC**, indem man sich dieselbe um eine in ihr vorhandene und durch **A** gehende Axe gedreht denkt, in die schiefe Lage B_1 C_1, so breitet sich die nämliche Menge Strahlen des Bündels **SADF**, die vorher auf **AD** fiel, jetzt über das größere Flächenstück **AE** aus, und

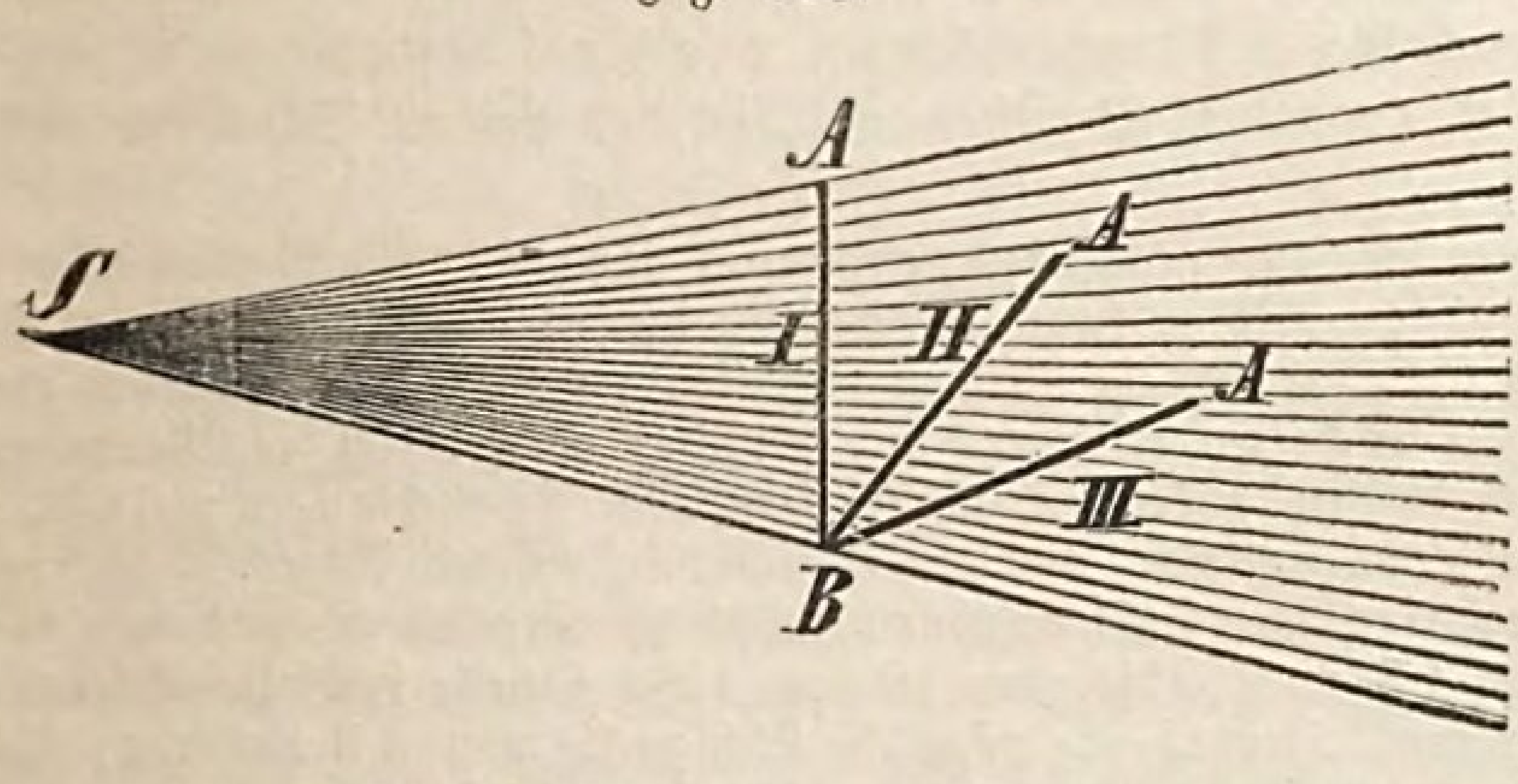
Fig. 522.



es ist somit $J : J_1 = AE : AD$, wenn J und J_1 die Intensitäten der Beleuchtung im ersteren und im letzteren Falle bedeuten (1). Denkt man sich nun die Ebene **BC** durch in ihr senkrecht gegen die Drehaxe gezogene gerade Linien in lauter unendlich schmale Streifen getheilt, so verhalten sich offenbar je zwei Streifenstücke, welche in den nacheinanderfolgenden Lagen **BC** und $B_1 C_1$ der beleuchteten Ebene dieselbe Lichtmenge empfangen, wie $AE : AD$ und daher hat man, weil $AE : AD = 1 : \sin. DEA$ und $\sin. DEA = \sin. SAC_1$ ist, $J : J_1 = 1 : \sin. SAC_1$ d. i. der oben unter (2) ausgesprochene Satz.

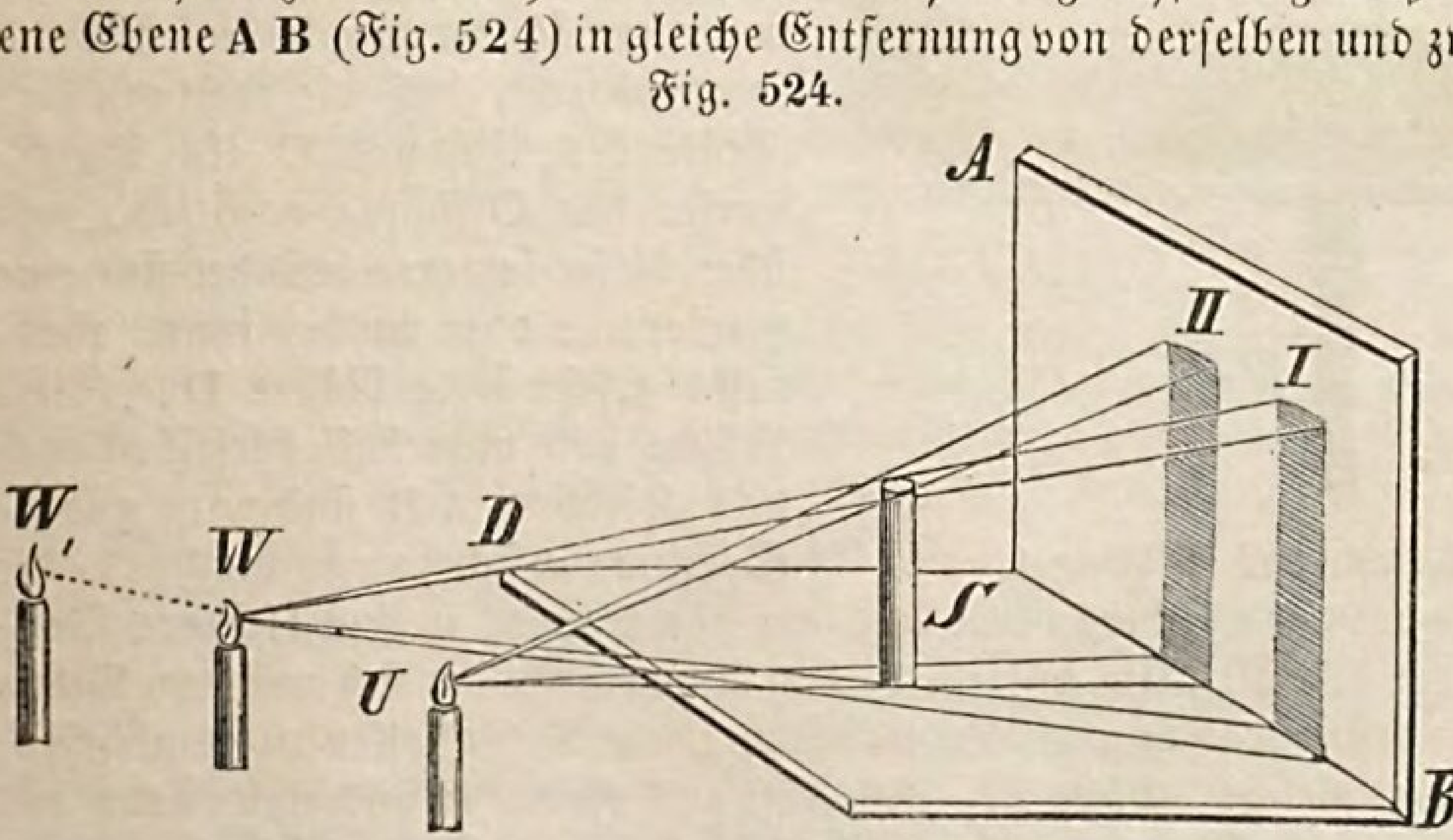
Daß eine Fläche auch desto schwächer beleuchtet werde, in eine je schiefere Lage man sie gegen die Lichtquelle bringt, wird im Allgemeinen aus der Figur 523 deutlich, aus welcher man ersieht, daß eine (durch die Linie A B im Durchschnitt dargestellte) Fläche, wenn man sie aus der senkrechten Lage I successive in immer schiefere Lagen II, III u. s. w. bringt, von der Lichtquelle S nicht mehr alle die Strahlen, wie in der Lage I, sondern deren immer weniger empfängt, eine je schiefere Stellung sie erhält.

Fig. 523.



287. Messen der Erleuchtungskräfte der Lichtquellen. Photometrie. Jener Zweig der Lichtlehre (der Optik), welcher das Messen der Erleuchtung zum Gegenstande hat, namentlich die Erleuchtungskräfte verschiedener Lichtquellen mit einander zu vergleichen und ihr Verhältniß durch Zahlen auszudrücken lehrt, heißt Photometrie, und die zu derlei Messungen dienlichen Instrumente oder Vorrichtungen heißen Photometer. Wir können nun gleich hier ein Paar photometrische Methoden besprechen. Die eine Methode gründet sich 1. auf den Satz, daß der Schatten (der Kernschatten), den ein undurchsichtiger Körper wirft, unter übrigens gleichen Umständen desto weniger dunkel erscheinen müsse, je stärker der Raum erleuchtet ist, in den er fällt, so daß man aus einem gleichen Grade der Dunkelheit zweier Schatten auf eine gleichstarke Erleuchtung der Räume schließen kann, in welche diese Schatten fallen, und 2. auf die Anwendung des oben unter (149) abgeleiteten Satzes. Das Verfahren selbst besteht in Folgendem. Erste Methode. Man bringt in einem verfinsterten Zimmer die zwei in Bezug auf Erleuchtungskraft zu vergleichenden Lichtquellen (seien diese z. B. eine Unschlitt- und eine Wachskerze **U** und **W**) vor eine vertikale, mit gleichförmig weißem Papier überzogene Ebene **A B** (Fig. 524) in gleiche Entfernung von derselben und zwischen die Kerzen u. die Ebene **AB** einen schmalen undurchsichtigen Körper (etwa einen dünnen Holzstab) **S**. Es wirft nun der Körper **S** auf die Papierfläche **A B** zwei Schatten **I, II**, wovon der eine (**I**), in den blos von der

Fig. 524.

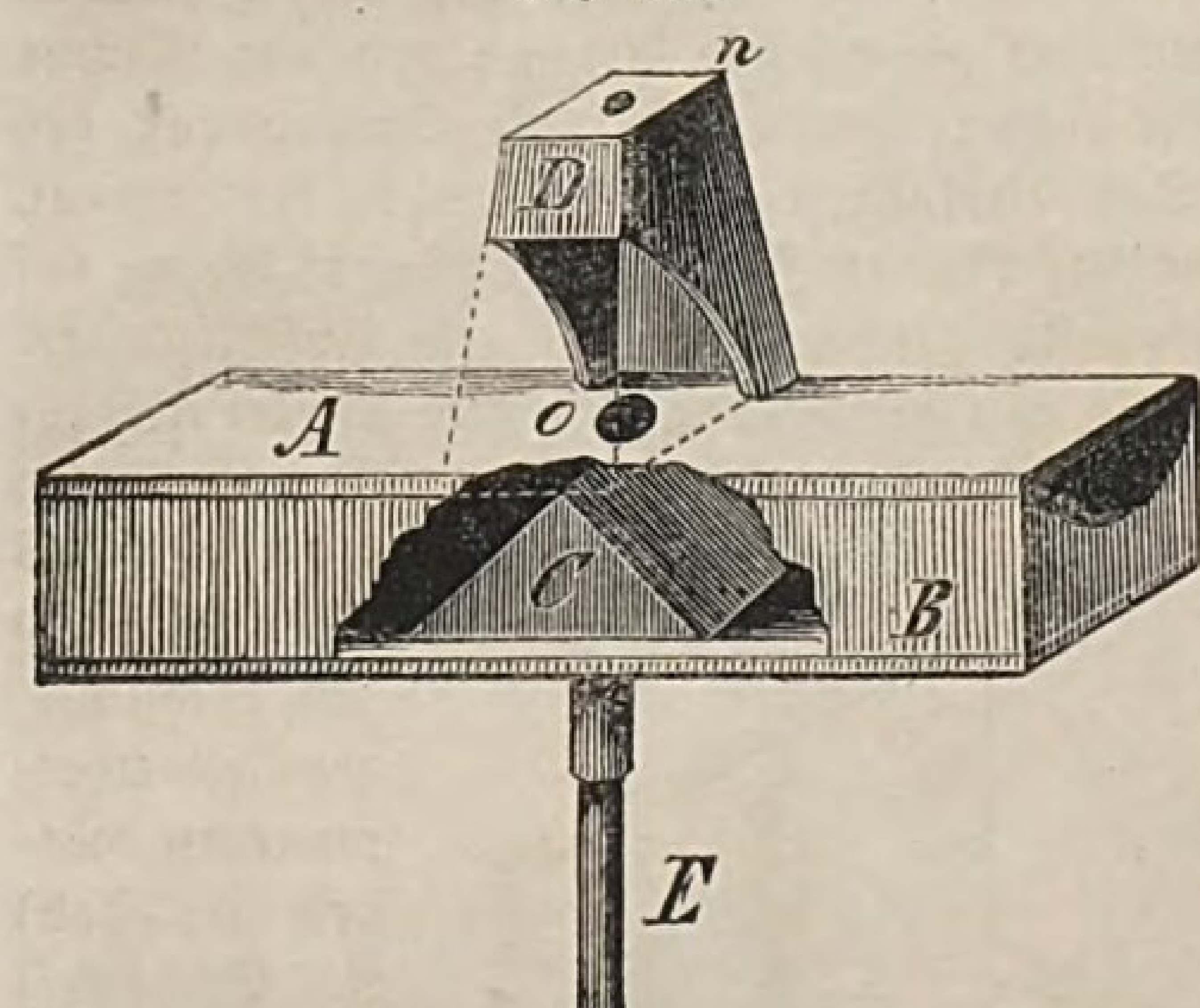


Kerze **U** und der andere (**II**) in den blos von der Kerze **W** beleuchteten Raum fällt. Erscheinen die beiden Schatten in gleichem Grade dunkel (um dies desto sicherer beurtheilen zu können, ist es gut, die Kerzen in eine solche Distanz gegen einander zu bringen, daß die zwei Schatten sich beinahe berühren), so sind beide besagten Räume gleich stark erleuchtet und die zwei Kerzen besitzen gleiche Erleuchtungskräfte (gleiche Lichtstärken). Zeigt sich aber z. B. der Schatten **II** weniger dunkel als **I**, so sendet die Kerze **W**, in deren Lichtraum der Schatten **II** fällt, stärkeres Licht aus, als die Kerze **U**, und man muß erstere Kerze weiter von **AB** weg z. B. nach $\mathbf{W_1}$ rücken, damit beide Schatten ganz gleich dunkel erscheinen (von beiden Kerzen gleich intensives Licht auf die Papierebene **AB** gelangt). Es verhalten sich dann zu Folge obigen Satzes (149) die Leuchtkräfte der zwei Kerzen wie die Quadrate ihrer jetzigen Entfernungen gegen **AB** (von der Berührungslinie der beiden Schatten aus gemessen).

Bei diesem photometrischen Verfahren, welches gewöhnlich Rumford's Namen trägt, obgleich schon Lambert eine gleiche Meßmethode anwendete, dürfen die Lichtquellen nicht allzu nahe an AB stehen, damit nicht der den eigentlichen Schatten umgebende Halbschatten die Beurtheilung der Dunkelheit der Schatten erschwere und unsicher mache. Um die Gleichheit der Erleuchtungen verläßlich beurtheilen zu können, müssen ferner die Erleuchtungen gleichfärbig sein. Indessen kann man in jedem Falle den aus der Unsicherheit unseres Auges in Betreff der erwähnten Beurtheilung entspringenden Fehler dadurch möglichst vermindern, daß man die eine Lichtquelle zuerst so nahe an AB rückt, bis man die von dieser Quelle bewirkte Erleuchtung als ein wenig zu stark erkennt, hierauf die nämliche Lichtquelle von AB entfernt, bis die von der andern Quelle ausgehende Erleuchtung etwas überwiegend erscheint und dann das arithmetische Mittel aus beiden Entfernungen als die wahre Distanz der in Rede stehenden Lichtquelle nimmt. Pernot fängt die Schatten auf einem durchscheinenden Schirme auf und beleuchtet sie, um besser beurtheilen zu können, ob sie gleich stark sind, von der Rückseite des Schirmes her mit einem Lichte. Findet Gleichheit statt, so verschwinden beide Schatten gleichzeitig; sonst verbleibt einer von ihnen.

Die zweite Methode, welche eine genauere Vergleichung der Erleuchtungen gestattet als die Rumford'sche, hat Ritchie angegeben. Sein Photometer besteht aus einem länglichen, viereckigen, außen und innerlich geschwärzten Kästchen **AB** (Fig. 525), dessen Enden halbkreisförmige Oeffnungen haben, durch welche das genau in der Mitte befindliche, oben rechtwinklige, hölzerne, an den Seitenflächen mit ganz gleich weißem Papiere überzogene Prisma **C** an diesen Seitenflächen beleuchtet wird. In der obern Wand des Kästchens ist eine kreisrunde Oeffnung **o** von etwa $2/3$ der Breite dieser Wand so angebracht, daß die rechtwinklige Kante des Prismas **C** als Durchmesser der Oeffnung erscheint, und über dieser letzteren befindet sich eine vierkantige oder runde, innen ebenfalls geschwärzte Röhre **D**, (diese Röhre und unterhalb derselben auch das Kästchen **AB** sind vorn ausgebrochen abgebildet, um das Prisma **C** und die Oeffnung **o** sichtbar zu machen), die zur Abhaltung des fremden Lichtes dient und am obern Ende **n** eine kleinere Oeffnung für das Auge enthält. Um mittelst dieses Apparates, der sich mit dem Stiele **E** in einem Stative feststellen läßt, die Intensitäten zweier Lichtquellen zu vergleichen, bringt man diese in gleicher Höhe 20—30 Fuß aus einander und stellt dann das Photometer in die gerade Linie zwischen beide, so daß jede Seitenfläche des Pris=

Fig. 525.



mas **C** von einer der Lichtquellen beschienen wird, beobachtet nun durch die Oeffnung in n die Erleuchtung der Seitenflächen von **C** und verändert die Entfernung der zwei Lichtquellen gegen das Photometer so lange, bis die besagten Seitenflächen völlig gleich stark beleuchtet erscheinen. Daß sich dann die Stärken der in Versuch genommenen Lichtquellen wie die Quadrate ihrer Entfernungen von den durch sie beleuchteten Papierflächen verhalten, bedarf wohl keiner Erwähnung mehr.

Den beiden eben beschriebenen photometrischen Methoden in Bezug auf Sicherheit weit vor- und rücksichtlich der Einfachheit und Leichtigkeit der Ausführung mindestens nicht nachstehend ist das von Bunsen angegebene Verfahren, welches der Wesenheit nach darin besteht, daß man zwischen die zwei mit einander zu vergleichenden und in einem gegenseitigen Abstande von 4—8 Fuß aufgestellten Lichtquellen ein Blatt Zeichenpapier, welches in der Mitte einen kleinen mit Stearin getränkten, transparenten Fleck hat, so hinein bringt, daß die Verbindungslinie beider Lichtquellen auf der Papierfläche senkrecht steht und durch die Mitte des transparenten Fleckes geht, und hierauf das Papierblatt in der Richtung der besagten Verbindungslinie so lange gegen die beiden Lichtquellen verstellt, bis der transparente Fleck dem von der einen Seite her auf die Papierfläche hinsehenden Auge vollkommen verschwunden ist, wo dann die Leuchtkräfte der beiden Lichtquellen offenbar den Quadraten der Abstände dieser letzteren vom Papierblatte proportional sind, weil das besagte Verschwinden des transparenten Fleckes ein Beweis ist, daß der Antheil des von der einen Quelle (**A**) kommenden Lichtes, welcher zu Folge der Transparenz des Stearinfleckes für die Helligkeit der nach **A** gekehrten Papierseite verloren geht, von der zweiten Lichtquelle (**B**) her genau wieder ersetzt wird, daß daher beide Quellen dem transparenten Flecke und mithin auch beiden Seiten des Papierblattes gleich starkes Licht zusenden. (Daß, so lange die zwei Lichtquellen die beiden Papierseiten ungleich stark beleuchten, der Stearinfleck dunkler oder heller als die übrige Papierfläche erscheinen müsse, je nachdem man ihn von der Seite der intensiveren oder der schwächeren Lichtquelle her betrachtet, ist nun für sich klar.)

Zur Ausführung des eben besprochenen Bunsen'schen Verfahrens reicht ein 4—8 Fuß langer prismatischer Holzstab ab (Fig. 526) von überall gleichem Querschnitte hin, der seiner ganzen Länge nach ein Längenmaß verzeichnet enthält, und auf welchem eine ihn umfangende Blechhülse c — die ein gegen sie rechtwinkliges Blechrähmchen d trägt, das mit dem den Stearinfleck e enthaltenden Papierblatte überspannt ist, — sich so verschieben läßt, daß das Rähmchen immer zu sich selbst parallel bleibt. Der eine Rand der Hülse, der in der Ebene des Papierblattes liegen muß, dient zur Ablesung der Entfernungen dieses Papierblattes von den betreffenden Lichtquellen, die an den Enden des Holzstabes, mit ihnen in den nämlichen Vertikalebenen und in der Höhe des auf dem Papiere vorhandenen Stearinfleckes angebracht sind. Man kann, wie dies zuerst Steinheil gethan hat, um jede Rechnung zu ersparen, auf dem Holzstabe anstatt eines Längenmaßes ein Maß verzeichnen, welches gleich unmittelbar das Lichtstärke-Verhältniß der beiden verglichenen Lichtquellen abzulesen gestattet und auf folgende Art erhalten wird. Man macht in der Hälfte der Länge des gewählten Holzstabes a b (Fig. 526) und senkrecht auf dieselbe einen Strich f und bestimmt die auf der einen Hälfte z. B. a f von f gegen a hin aufzutragenden andern Theilstriche, z. B. den Theilstrich n, mittel der Formeln

Fig. 526.



$y = \frac{\sqrt{m}-1}{m-1} \cdot l = \frac{l}{\sqrt{m}+1} \dots .\ 1)$ und $x = \frac{l}{2} - y \dots .\ 2)$, worin l die ganze Länge des Holzstabes, m die Verhältnißzahl der Leuchtkräfte der im Versuche befindlichen Lichtquellen vorstellt, ferner y und x die aus der Figur 526 selbst ersichtlich Bedeutung haben. Setzt man in den Formeln 1) und 2) für m der Reihe nach die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 u. s. w., so sind die für x sich ergebenden Werthe die Abstände, in welchen, (von f aus gegen a hin), die Theilstriche zu verzeichnen kommen, mit welchen der Reihe nach die Ebene des Papierblattes, während der Stearinfleck darauf verschwunden ist, zusammenfällt, wenn die Leuchtkraft der in b

befindlichen Lichtquelle zu jener der in a vorhandenen im Verhältnisse 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1, 4 : 1, 5 : 1 u. s. w. steht, d. h. wenn die Leuchtkraft der Quelle b eben so groß oder 2mal, 3mal, 4mal, 5mal u. s. w. größer ist als jene der Quelle a. Für einen 80 Zoll langen Holzstab haben z. B. die nach einander folgenden Werthe von x, die den Werthen 1, 1·5, 2, 2·5, 3, 3·5, 4, 4·5, 5, 6, 7 u. s. w. bis 40 von m korrespondiren, in Zollen die in der nachstehenden Tabelle (2 Columne) angegebenen Größen.

m	x	m	x	m	x	m	x	m	x
1	0	6	16·802	12	22·080	22	25·941	32	27·980
1·5	4·048	6·5	17·461	13	22·630	23	26·200	33	28·138
2	6·864	7	18 056	14	23·128	24	26·440	34	28 288
2·5	9·004	7·5	18·601	15	23 581	25	26·670	35	28·432
3	10·718	8	19·103	16	24·000	26	26·883	36	28·571
3·5	12·133	8·5	19 566	17	24·384	27	27·088	37	28·705
4	13·333	9	20 000	18	24·740	28	27·284	38	28·834
4·5	14·369	9 5	20·402	19	25·071	29	27·447	39	28·960
5	15·277	10	20·779	20	25 380	30	27·655	40	29·080
5·5	16·085	11	21 469	21	25·670	31	27·820		

So steht also z. B. der Theilstrich, mit welchem die Papierfläche, während der transparente Fleck darauf verschwunden ist, zusammenfallen muß, 24 Zoll von f (gegen a hin) ab, wenn die Lichtquelle b jene in a an Leuchtkraft 16mal übertrifft, d. h. wenn m = 16 ist.

Das Hinsehen auf die Papierfläche, während sie bis zum Verschwinden des Stearinfleckes längst des Holzstabes verschoben wird, geschieht am besten unter einer gegen die Papierfläche um 45° geneigten Richtung, und es läßt sich das besagte Verschwinden so scharf beurtheilen, daß die Positionen des Papierschirmes auf dem Maßstabe, bei welchen mehreren verschiedenen Personen (oder einer und derselben Person mehrere Male nach einander) immer der Fleck verschwindet, gar nicht oder nur um Unbedeutendes differirt, also von allen diesen Personen das gleiche relative Maß der Leuchtkräfte der nämlichen zwei Lichtquellen gefunden wird. Daß man den Holzstab durch einen Papierstreifen, worauf der Maßstab verzeichnet und der auf einem Tische, einem Brete oder sonst einer Unterlage zwischen den zu vergleichenden Lichtquellen ausgespannt ist, ersetzen, und anstatt des oben erwähnten mit Papier überspannten Blechrähmchens d blos ein etwa 4—6 □ Zoll großes, rechteckiges Blatt aus steifem Papier mit dem transparenten Stearinfleck in der Mitte anwenden und dieses Papierblatt dann in aufrechter Stellung mit der Hand auf dem Maßstabe hinführen könne, fällt gewiß Jedermann selbst ein. In dieser Form kann das Bunsen'sche Photometer in der Brieftasche mit sich geführt werden, und läßt (bei gehöriger Handhabung), ohne an Verläßlichkeit verloren zu haben, in Rücksicht auf Einfachheit und Bequemlichkeit wohl nichts mehr zu wünschen übrig. Den oft erwähnten, transparenten Stearinfleck erhält man leicht, indem man auf das betreffende horizontal gehaltene Papierblatt ein Stückchen Stearin von der Größe eines kleinen Stecknadelkopfes legt und das Papier dann so lange über eine erwärmte Metallfläche (ein durch eine Flamme von unten her erhitztes Blechstück u. s. w.) hält, bis das Stearinstückchen ganz zerflossen ist.

Man kann auch, anstatt zwei Lichtquellen unmittelbar mit einander zu vergleichen, jede derselben mit einer dritten Lichtquelle vergleichen, und aus dem Verhältnisse ihrer Lichtstärken zu jener dieser dritten Quelle ihr gegenseitiges Lichtstärke-Verhältniß ableiten. Man wählt dann am besten als Vergleichungslichtquelle eine Lampe von möglichst constanter Lichtstärke (eine argand'sche Lampe mit constantem Oelzuflusse, eine Pump- oder Moderateur-Lampe). Die Anwendung einer solchen Vergleichungslichtquelle gewährt auch eine große Beschleunigung und Erleichterung der Arbeit, wenn Lichtquellen in größerer Zahl zu vergleichen sind. Man kann dann die Flamme der konstanten Lampe — um zu erreichen, daß auf jede Seite des zu beleuchtenden Papieres immer nur von der dieser Seite gegenüberstehenden Lichtquelle und nicht auch von der zweiten Lichtquelle her durch Reflexion Licht gelangen könne — in einen inwendig geschwärzten Kasten einschließen, der ein Auszugrohr hat, dessen äußere Oeffnung durch das mit dem transparenten Stearinfleck (oder einem transparenten Stearinring) versehene Papier verschlossen ist und welcher mit dem Lampengestelle längst eines Maßstabes, etwa in einer Rinne (Nuth), gegen die Lichtquelle an dem Anfangspunkte des Maßstabes verschieben läßt.

Bei keiner der besprochenen photometrischen Verfahrungsweisen soll man während des Versuchs nach den Lichtquellen hinsehen, weil dadurch das Auge zur Beurtheilung geringerer Erleuchtungsunterschiede unfähig wird, und man dann demselben mindestens einige Zeit Erholung gönnen muß, bevor die Arbeit fortgesetzt werden kann

288. Zurückwerfung (Reflexion) des Lichtes. Das Licht pflanzt sich nur in einem ganz gleichartigen Mittel geradlinig fort; bei jedem Uebergange in ein anderes im Verhältnisse zum vorigen ungleichartiges Mittel erfährt es im Allgemeinen eine Aenderung seiner Richtung und auch zugleich seiner Intensität. An der Grenzfläche ungleichartiger Mittel wird nämlich von dem daselbst anlangenden Lichte immer ein Theil in das erstere (alte) Mittel zurückgeworfen (reflektirt) und der andere tritt in das folgende (neue) Mittel ein. Beide Theile gehen, von der Grenzfläche der Mittel aus, nach einer andern als der ursprünglichen Richtung des Strahles weiter, wenn dieser schief an die besagte Fläche trifft. Hier soll vorläufig nur der zurückgeworfene Theil einer nähern Betrachtung unterworfen und der in das neue Mittel eintretende noch ganz außer Acht gelassen werden. Ist die reflektirende Fläche glatt, so wird das Licht regelmäßig d. h. nicht merklich verändert und ganz in der Beschaffenheit, gegenseitigen Lage und Anordnung der Strahlen zurückgeworfen, in welcher es an der Fläche ankam, so daß dasselbe nachher so ins Auge gelangt, und darin die nämliche Wirkung hervorbringt, als käme es unmittelbar von der Lichtquelle, daher das Auge diese Lichtquelle selbst sieht. Ist die zurückwerfende Fläche hingegen rauh, so wird durch die Rauheiten das Licht nach allen Richtungen durcheinander geworfen (zerstreut), so daß von den Punkten dieser Fläche, wie von jenen eines leuchtenden Körpers nach allen Richtungen Strahlen ausfahren und man daher, ganz so wie diesen, auch die reflektirende Fläche sehen muß, wenn von den besagten Strahlen einige das Auge treffen. Körper, die das Licht regelmäßig regelmäßig reflektiren, machen uns demnach die Gegenstände sichtbar, welche ihnen das Licht zusenden, und heißen Spiegel (die regelmäßige Zurückwerfung wird spiegelnde Zurückwerfung oder Spiegelung genannt, und bestimmt dasjenige, was man Glanz der Körper heißt); während durch das zerstreut zurückgeworfene Licht (zu Folge sogenannter zerstreuender oder strahlender Reflexion) nur die zurückwerfenden Körper sichtbar werden. Daß die Ursache dieses Unterschiedes der Körper in Bezug auf Lichtreflexion aber wirklich nur in der Beschaffenheit ihrer Oberfläche (ob diese glatt oder rauh ist) liege, beweist der Umstand, daß jeder rauhe und (durch zerstreutes Licht) selbst sichtbare Körper, sogleich spiegelnd wird, wenn man ihn an der Oberfläche polirt, während jeder Spiegel durch Rauhmachen seiner Oberfläche die spiegelnde Eigenschaft verliert.

Da keine durch die Natur erzeugte oder auf das vollkommenste künstlich polirte Fläche absolut glatt ist, sondern jede immer noch (wenn auch sehr feine, nur durch starke Vergrößerungsgläser oder andere Mittel nachweisbare) Rauhheiten d. i. Erhöhungen und Vertiefungen besitzt (ja schon der Porosität wegen besitzen muß); so gibt es auch keinen vollkommenen Spiegel, d. h. keinen Körper, der alles Licht, das er überhaupt reflektirt, regelmäßig zurückwirft und daher bloß das Bild der ihm Licht zusendenden Quelle zeigt, selbst aber nicht sichtbar ist. (Ein vollkommener Spiegel würde eben nur durch seine spiegelnde Wirkung bemerkbar sein und für das eigentliche Sehen sich so verhalten, als wenn er schwarz wäre d. h. gar kein Licht dem Auge zusendete. Wirklich erscheinen gut spiegelnde Flächen desto schwärzer, je vollkommener ihre Spiegelung ist.) In der That wird jede spiegelnde Fläche selbst gesehen, wenn das auf sie fallende Licht hinreichend stark ist, so daß auch der geringe aliquote Theil desselben, der zerstreut zurückgeworfen und unserem Auge zugeführt wird, in diesem das Sehen hervorzurufen Intensität genug besitzt. Einen vollkommenen (natürlich nur in der Idee existirenden) Spiegel am nächsten kommen: die Oberfläche reinen Quecksilbers und andere ruhig stehender Flüssigkeiten; weiße möglichst polirte Metallplatten (die besten Metallspiegel erhält man nach Simons durch Zusammenschmelzen von 2 Gewichttheilen Kupfer und 1 Gewichttheil Zinn, oder auch aus 32 Kupfer, 15 Zinn, 1 Messing und 1 Arsenik); ferner wohlpolirte und auf der andern Seite gut geschwärzte Glasplatten oder (besser) polirte Platten aus in der ganzen Masse schwarzem Glase, nur geben diese schwarzen Spiegel, da von denselben nur ein geringer Antheil des auffallenden Lichtes reflektirt, alles andere Licht aber absorbirt wird, lichtarme düstere Bilder. Die gewöhnlichen Spiegel, die aus weißen, an der Rückseite mit Zinnamalgam belegten (folirten) Glasplatten bestehen und eigentlich Metallspiegel sind, da vorzüglich die rückwärtige, metallische Belegung die Bilder erzeugt, stehen deswegen allen vorerwähnten Spiegeln nach, weil die durch regelmäßige Reflexion des Lichtes

auch von der vorderen Glasfläche entstehenden Bilder mit den von der Metallfolie kommenden theilweise zusammenfallen und diese hiedurch an Deutlichkeit und Schärfe verlieren. Von dem Vorhandensein dieser doppelten Bilder kann man sich leicht überzeugen, wenn man eine Kerzenflamme vor den Spiegel bringt und in schiefer Richtung nach deren Bilde in letzterem hinsieht, welches dann deutlich doppelt erscheint. Bei manchen Amalgamspiegeln sieht man so, wegen wiederholter Reflexion von der hintern gegen die vordere Fläche und zurück, 4 und mehrere Bilder eines und desselben Gegenstandes. Dieser doppelten oder mehrfachen Bilder wegen sind folirte Spiegel zu genaueren optischen Versuchen und Apparaten nicht geeignet.

289. Gesetze der Reflexion des Lichtes. Ist in Fig. 527 **A** ein Punkt der das Licht zurückwerfenden Fläche, **SA** die Richtung eines in dem Punkte **A** eintreffenden Lichtstrahles, stellt FF_1 den Durchschnitt der reflektirenden Fläche, falls sie eben ist, für den entgegengesetzten Fall aber den Durchschnitt der Ebene vor, welche diese Fläche in dem Punkte **A** tangirt, und ist ferner **EA** eine auf der Ebene FF_1 im Punkte **A** errichtete Senkrechte; so heißt **SA** der einfallende Strahl, **A** der Einfallspunkt, **EA** das Einfallsloth, eine durch **SA** und **EA** gelegte Ebene die Einfallsebene und der Winkel **SAE**, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe macht, der Einfallswinkel. Bedeutet die gerade Linie **AX** die Richtung des von **A** reflectirten Strahles, so nennt man eine durch diesen Strahl und das Einfallsloth **EA** gelegte Ebene die Reflexionsebene, und den Winkel **EAX**, den der reflectirte Strahl mit dem Einfallslothe **EA** bildet, den Reflexionswinkel. Mit Anwendung dieser Benennungen lassen sich die Gesetze, nach welchen die Reflexion des Lichtes erfolgt, kurz in folgenden zwei Sätzen zusammenfassen: 1) Der reflektirte Strahl liegt immer in der erweiterten Einfallebene und zwar im Vergleiche mit dem einfallenden Strahle auf der andern Seite des Einfallothes; 2) der Reflexionswinkel ist stets dem Einfallswinkel gleich. Diese Gesetze lassen sich leicht mittelst eines von Cauchoix angegebenen und in Fig. 528 abgebildeten Apparates nachweisen. **K** ist ein vertikaler, mit Gradtheilung versehener und von einem Fußgestelle getragener Kreis, an welchem hin zwei metallene Arme **I, II** sich bewegen lassen, die um eine durch das Centrum des Kreises gehende und auf dessen Ebene senkrecht stehende Axe drehbar sind, und an den äußeren Enden senkrecht aus der Kreis-Ebene hervorragende Platten 1, 2 tragen, deren jede in gleichem Abstande von dieser Ebene ein ganz kleines Loch (o und o′) hat. Es mögen diese hinter dem Kreise drehbaren Arme kurz die Laufer heißen. Vor dem Centrum **C** des Kreises befindet sich ein polirtes Spiegelglas **G**, dessen Lage man durch Stellschrauben so reguliren kann, daß es auf der Kreisebene senkrecht steht, mithin horizontal, wenn diese vertikal ist, (wovon man sich überzeugt, indem man auf die obere Fläche des Glases eine Wasserwage stellt und sieht, ob diese eine horizontale Stellung der besagten Fläche anzeigt, nachdem der Kreis durch Richtung nach irgend einem senkrechten Gegenstande, z. B. dem Rahmen eines Fensters oder der Seitenkante eines Gebäudes

Fig. 527.

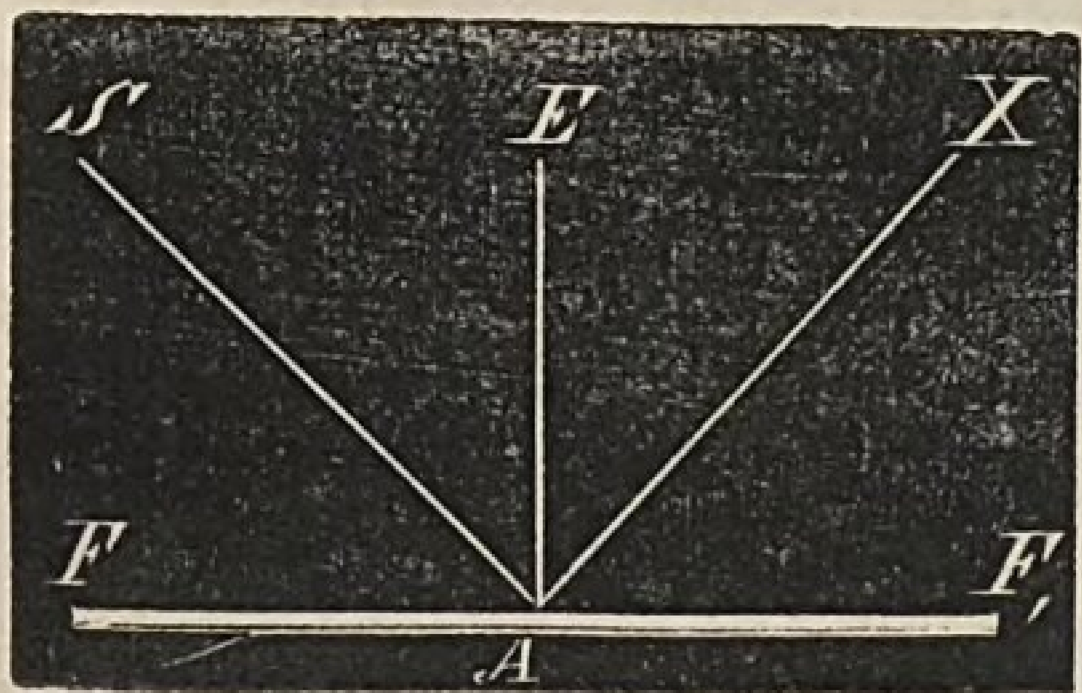
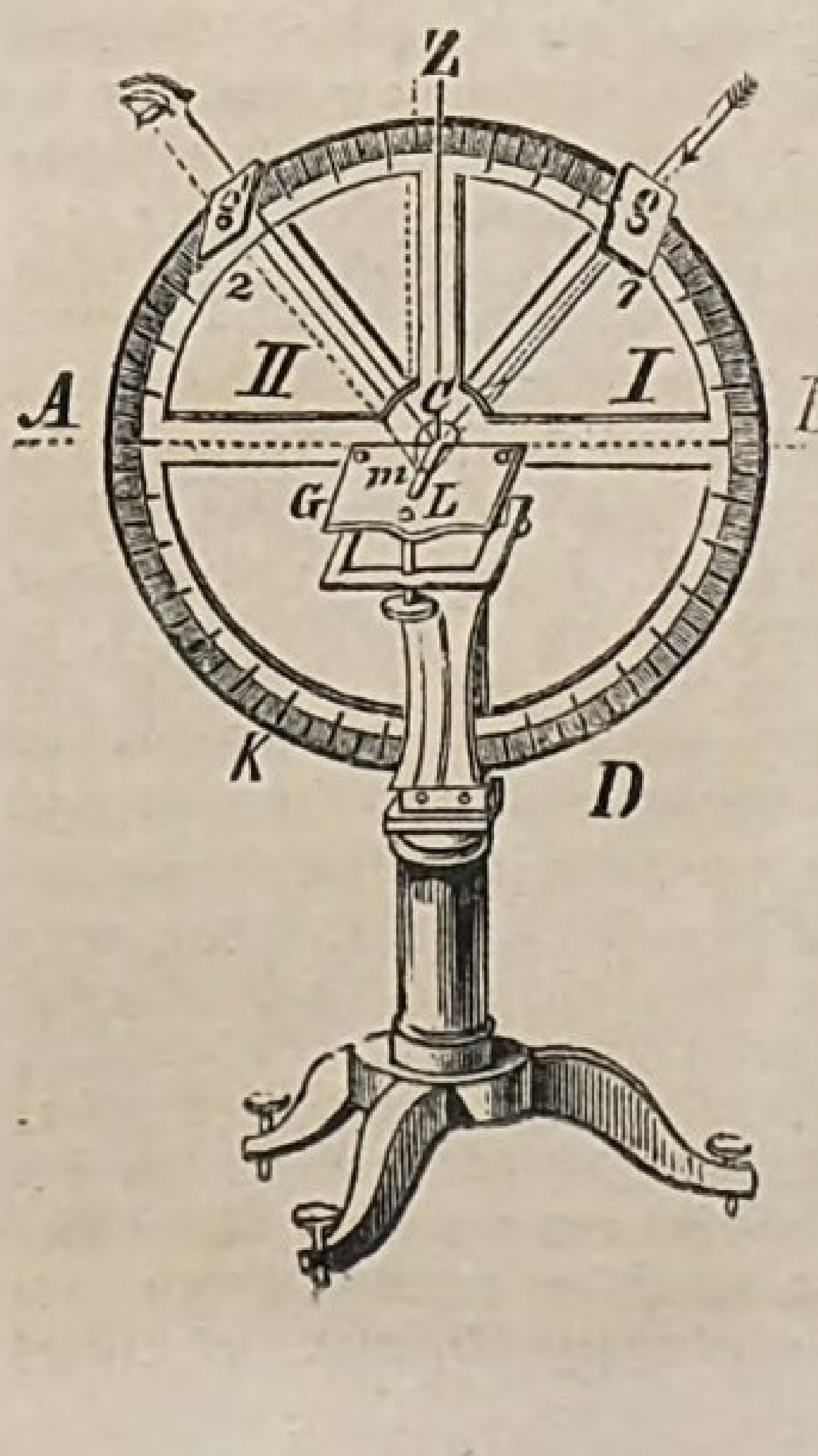


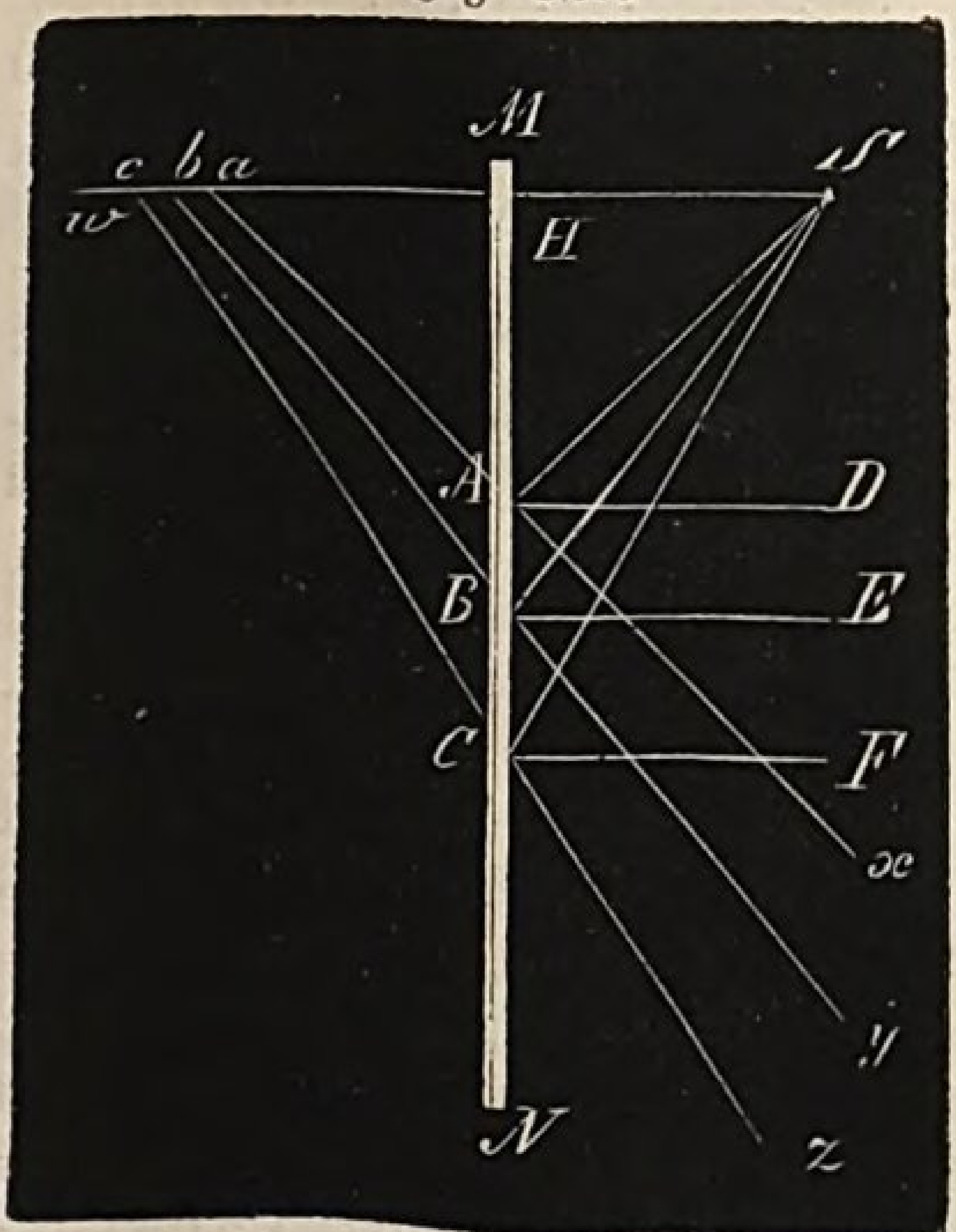
Fig. 528.



u. s. w., vertikal gestellt worden). Auf dem Glase endlich und vor dem Mittelpunkte des Kreises ist ein ebener Metallstreifen festgemacht, so daß sein scharfschneidiger Rand **CL** auf dem Glase eine gerade Linie darstellt, welche in die verlängerte Richtung der Drehaxe der beiden Laufer fällt, also wie diese auf der Kreisebene senkrecht steht. Auf der Linie **CL** befindet sich ein Strich m so angebracht, daß derselbe mit den zwei ganz kleinen (punktähnlichen) Löchern o und o′ der Laufer in einer und derselben zum Kreise parallelen Ebene liegt. Nun bringt man den Apparat an ein offenes Fenster und sorgt dafür, daß direktes Sonnenlicht durch die Oeffnung des einen Laufers (z. B. o des Laufers **II** und auf das Glas **G** gelangen kann, hierauf verstellt man den Laufer **II**, bis man beim Durchsehen durch die Oeffnung o′ desselben das Bild des Loches o genau am Rande der scharfen Kante **CL** des vorerwähnten Metallstreifens sieht. Die Erfahrung zeigt, daß sich diese Bedingung immer erfüllen läßt, und daß dann der Strich m auf **CL** immer den Einfallspunkt des durch das Loch o gehenden Strahles bildet. Mithin liegen dieser (der einfallende) und der von m aus durch o′ gehende (der reflektirte) Strahl in einer und derselben auf der zurückwerfenden Fläche senkrechten Ebene (in der Einfallsebene), und dies ist das erste Reflexionsgesetz. Da ferner die beiden Strahlen auf der Axe **CL** des getheilten Kreises zusammentreffen, so werden ihre Neigungen gegen die Glasoberfläche durch die Bogen **B** o und **A** o′ gemessen, deren Werth sich auf der Kreiseintheilung ablesen läßt, indem man von dem horizontalen Durchmesser **AB** des Kreises ausgeht. Hierbei ergibt sich für alle möglichen Lagen der Laufer, daß der einfallende und reflektirte Strahl mit der zurückwerfenden Fläche stets gleiche Winkel bilden, woraus bei bloßem Anblicke der vorigen Fig. 527 auch die Gleichheit des Einfalls- und des Reflexionswinkels erhellt, welche in dem zweiten Reflexionsgesetze ausgesprochen ist. Wenn man bedenkt, daß eine rauhe Fläche aus unzähligen in den verschiedensten Lagen gegeneinander gestellten, äußerst kleinen Flächenstücken zusammengesetzt betrachtet werden kann; so sieht man ein, daß eine solche rauhe Fläche die Theile eines auf sie auffallenden Strahlenbündels nach allen Richtungen auseinander werfen, also das Licht zerstreuen müsse.

290. Erscheinungen bei ebenen Spiegeln. Eben oder plan heißt jeder Spiegel, dessen spiegelnde Fläche eine Ebene ist. Es stelle die Linie **MN** in Fig. 529 einen Planspiegel im vertikalen Durchschnitte vor; **S** sei ein leuchtender Punkt vor der spiegelnden Fläche und **SA** einer der unzähligen Strahlen, die

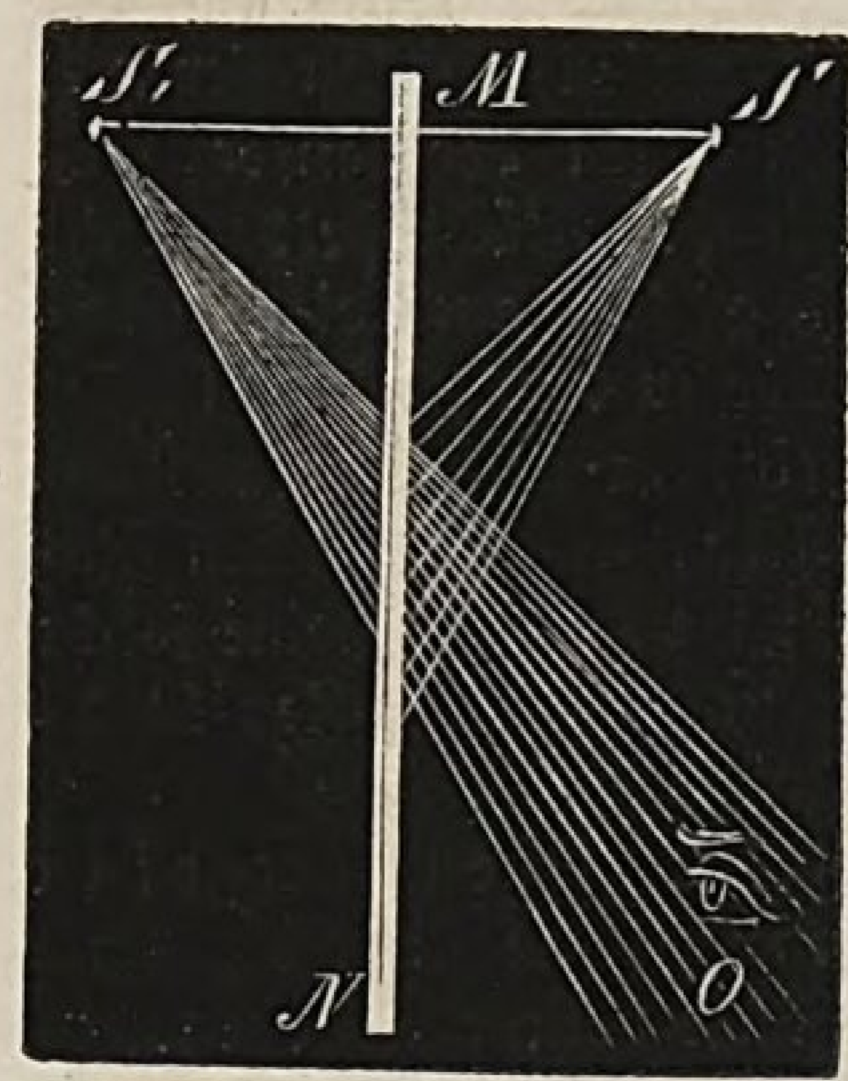
Fig. 529.



ersterer der letzteren zusendet. Zieht man das Einfallsloth **DA** und die gerade Linie **A**x so, daß dieselbe mit **SA** und **AD** in der nämlichen Ebene liegt und mit dem Einfallslothe **AD** einen eben so großen Winkel, wie **SA** bildet, so stellt, den Reflexionsgesetzen gemäß, diese Linie **A**x die Richtung vor, in welcher der Strahl **SA** vom Spiegel reflektirt wird. Sind **SB**, **SC** andere von **S** auf den Spiegel gelangende Strahlen, **EB**, **FC** die Einfallslothe für dieselben, und **B**y, **C**z die auf gleiche Weise wie vorher konstruiten Richtungen, nach welchen die Strahlen **SB**, **SC** reflektirt werden, man fällt nun vom leuchtenden Punkte **S** ein Perpendikel **SH** auf den Spiegel, verlängert dieses hinter denselben nach w hin und thut letzteres auch mit den Richtungen der reflektirten Strahlen so lange, bis sie das Perpendikel in den Punkten a, b, c schneiden; so

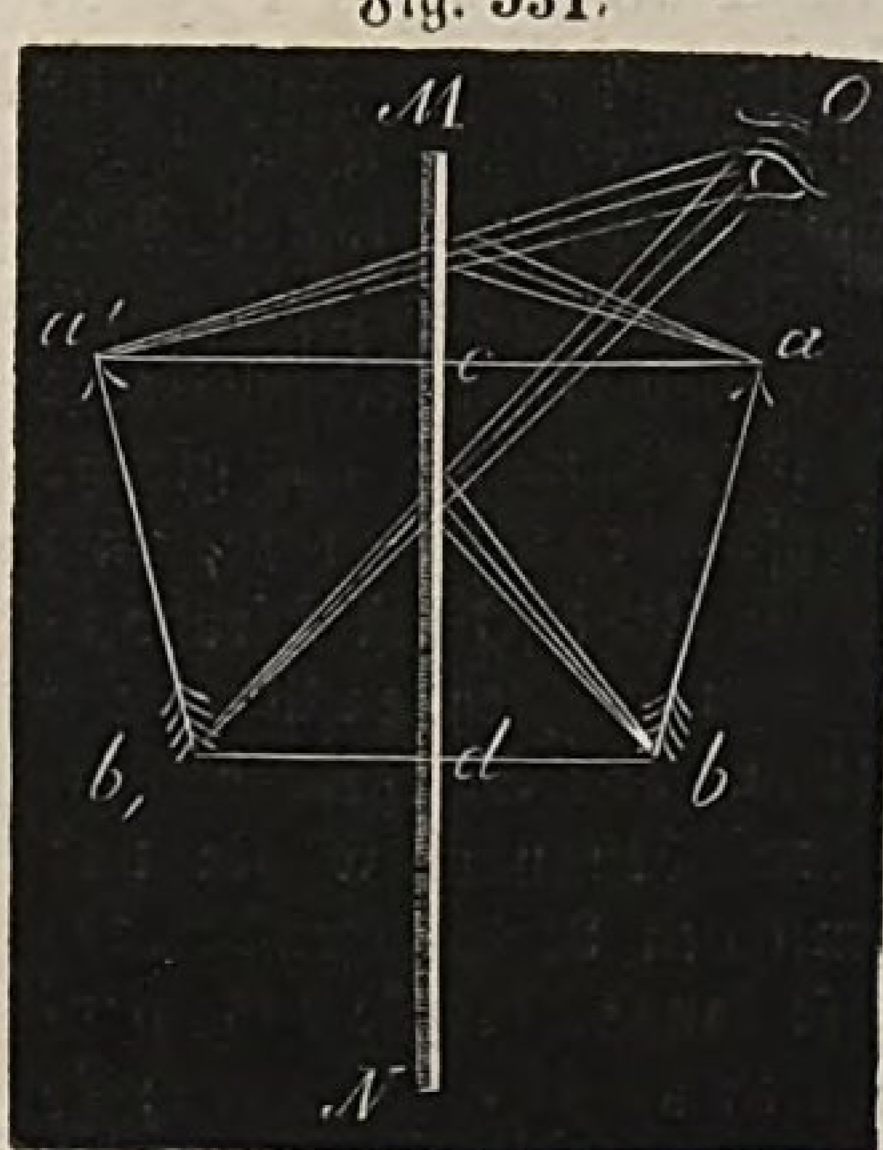
läßt sich beweisen, das alle diese Durchschnittspunkte in einen einzigen Punkt zusammenfallen, der eben so weit hinter dem Spiegel liegt, als der leuchtende Punkt vor dem Spiegel sich befindet, und zwar ist der Beweis folgender. Da $\angle$ **D A x** $=$ $\angle$ **S A D** (der Reflexionswinkel $=$ dem Einfallswinkel) ist, so sind auch die Ergänzungen dieser Winkel je zu 90^0 gleich; es ist daher $\angle$ **N A x** $= \angle$ **S A H**, ferner ist $\angle$ **N A x** $= \angle$ **a A H** (sie sind Scheitelwinkel), mithin auch $\angle$ **S A H** $= \angle$ **a A H.** Da die Dreiecke **S H A** und **a H A** überdies die Winkel **S H A** und **a H A** als rechte Winkel gleich und die Seite **A H** gemeinschaftlich haben; so sind sie congruent, und mithin ist **a H** $=$ **S H** ... (1). Auf ganz gleichem Wege ergibt sich, daß das Δ **S B H** mit Δ **b B H** und Δ **S C H** mit Δ **c C H** congruent, folglich auch **b H** $=$ **S H** ... (2) und **c H** $=$ **S H** ... (3) sein müsse, und es folgt sonach aus (1), (2) und (3) **a H** $=$ **b H** $=$ **c H** $=$ **S H** d. h. alle oben besagten Durchschnittspunkte **a, b, c** fallen in einen einzigen Punkt zusammen, dieser liegt in der Richtung einer vom leuchtenden Punkte auf den Spiegel gezogenen Senkrechten, hinter dem Spiegel und in der nämlichen Entfernung von diesem wie der leuchtende Punkt. Man sieht nun schon ein, daß in diesem Durchschnittspunkte die hinter den Spiegel verlängerten Reflexions-Richtungen aller vom leuchtenden Punkte **S** dem Spiegel zugesendeten Strahlen zusammentreffen müssen, wie es die Fig. 530 zeigt. Gelangen einige dieser Strahlen nach ihrer Reflexion in das Auge eines Beobachters, so erscheinen sie demselben, zu Folge der Gewohnheit, in gerader Richtung zu sehen, von ihrem scheinbaren, gemeinschaftlichen Durchschnittspunkte herzukommen und er versetzt in letzteren Punkt S_1 hin den leuchtenden Punkt **S**. Dieser scheinbare leuchtende Punkt heißt das Bild des wahren leuchtenden Punktes und es steht somit der Satz fest: **Ein Planspiegel gibt von jedem vor ihm befindlichen leuchtenden Punkte ein Bild, welches sich hinter dem Spiegel, in der vom leuchtenden Punkte auf die spiegelnde Ebene gezogene Senkrechten und eben so weit von dieser Ebene entfernt befindet als der leuchtende Punkt** . . . . (150).

Fig. 530.



Nach diesem Satze läßt sich der Ort des Bildes eines jeden Punktes der einem Planspiegel zugekehrten Oberfläche eines Körpers, mithin die Lage und Gestalt des Bildes dieser Oberfläche selbst angeben, da dieses Bild der Inbegriff der Bilder aller ihrer Punkte ist. Um z. B. das Bild des vor dem Planspiegel **M N** (Fig. 531) befindlichen Pfeiles **a b** zu konstruiren, hat man von allen Punkten **a, b** u. s. w. des letzteren Perpendikel **a c, b d** u. s. w. auf den Spiegel zu fällen und die Verlängerung **c a'**, **d** b_1 u. s. w. eines jeden derselben hinter den Spiegel dem vor den Spiegel fallenden Stücke **a c, b d** u. s. w. gleich zu machen. Der Inbegriff der Endpunkte **a'**, b_1 u. s. w. der Perpendikel-Verlängerungen, (der Pfeil **a'** b_1) ist dann offenbar das Bild. Man sieht zugleich in der Figur den Gang von einigen der Strahlen, welche dem Auge in **o** das Bild **a'** b_1 sichtbar machen. Diese und jede ähnliche Construktion zeigt, daß das Bild eines Gegenstandes in einem Planspiegel aufrecht und mit dem Gegenstande in gleicher Größe er-

Fig. 531.

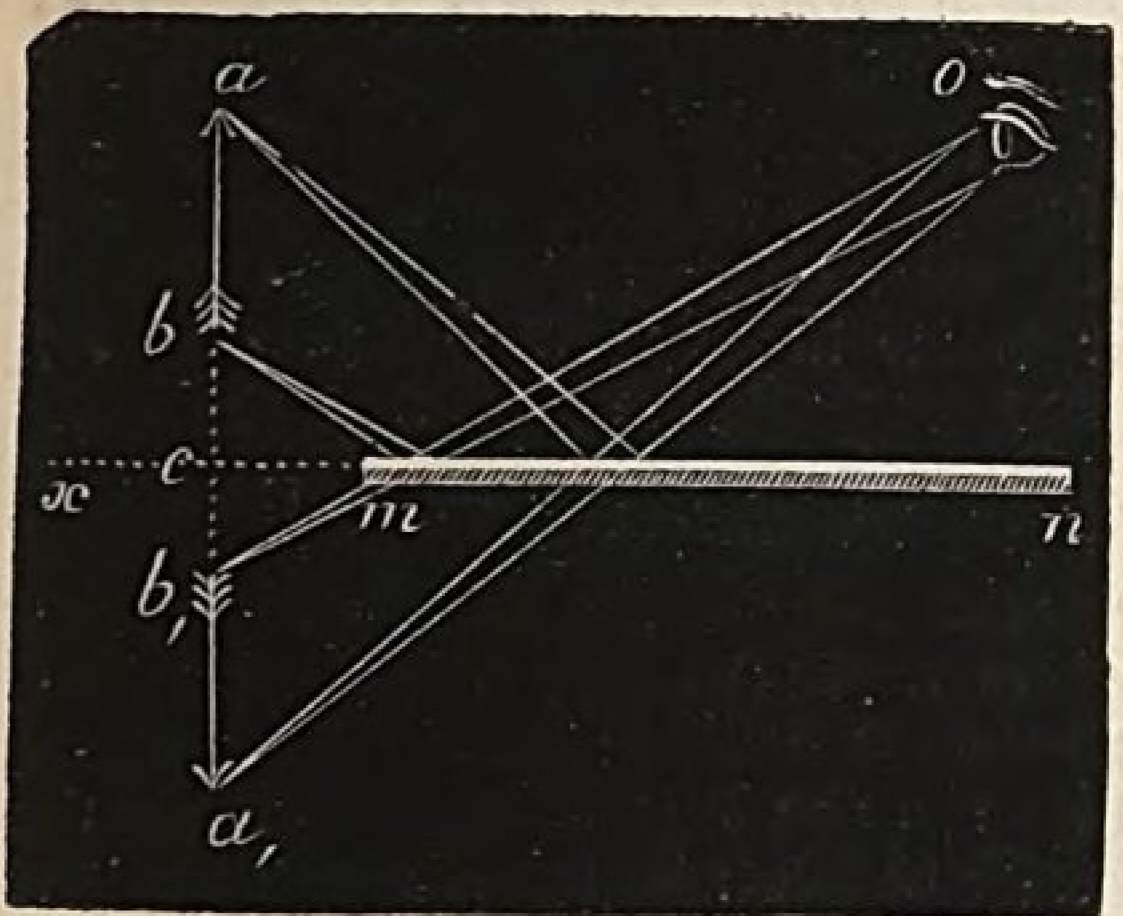


scheinen müsse, die Anordnung der Theile in Bezug auf rechts und links aber im Bilde gerade die umgekehrte gegen jene des Gegenstandes sei.

Es mögen hier noch einige Beispiele die Entstehung und Construktion der Bilder leuchtender Punkte und Gegenstände in Planspiegeln erläutern.

1. Construktion des Bildes eines seitwärts von einer ebenen spiegelnden Fläche m n (Fig. 532) befindlichen Gegenstandes a b (z. B. eines am Ufer eines Baches stehenden Baumes).

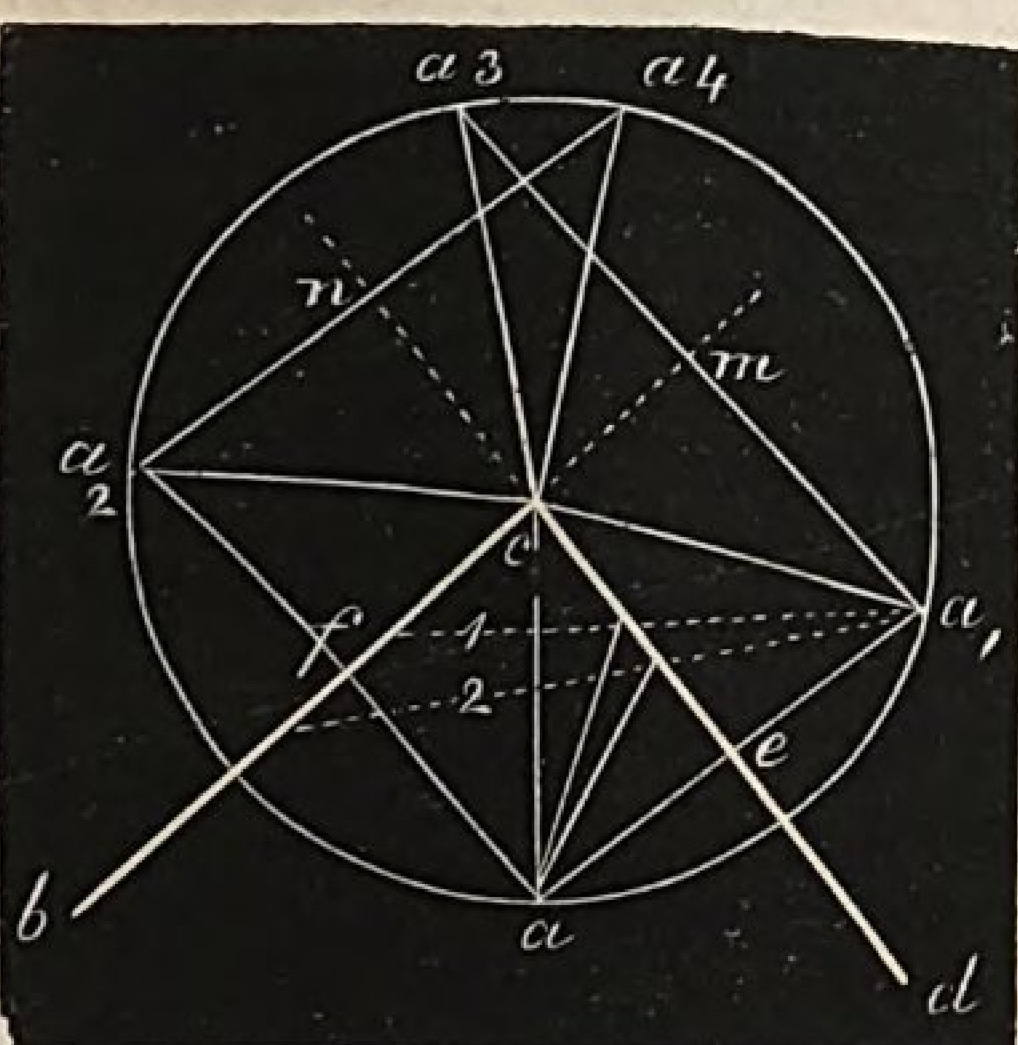
Fig. 532.



Man fälle von den einzelnen Punkten des betreffenden Gegenstandes Perpendikel auf die nach der Seite des Gegenstandes (nach x) hin erweitert gedachte spiegelnde Fläche, schneide von den Verlängerungen der Perpendikel hinter diese Fläche Stücke ab, welche den vor die Fläche fallenden Perpendikelstücken gleich sind, so werden nach Satz (150) die Endpunkte der Abschnitte die Stellen bezeichnen, wo die Bilder der betreffenden leuchtenden Punkte erscheinen. Demnach sieht das Auge, wenn $a_1 c = a c$, $b_1 c = b c$ ist und diese Linien alle senkrecht auf n x stehen, das Bild von a in a_1 und von b in b_1 u. s. w. Der bloße Anblick der Figur zeigt, daß das Bild des seitwärts vom Spiegel befindlichen Objektes nur dann gesehen werden kann, wenn das Auge vor der spiegelnden Fläche oder auf jener Seite außerhalb derselben sich befindet, die der Seite, wo das Objekt steht, entgegengesetzt ist, und daß man überhaupt das Bild eines leuchtenden Punktes in einem Planspiegel nur bei jener Stellung des Auges vor dem Spiegel sehen könne, bei welcher die Verbindungslinie des Auges mit dem Punkte, wo das Bild vorhanden ist (mit dem Endpunkte des vom leuchtenden Punkte auf den Spiegel gefällten und hinter denselben gleichweit verlängerten Perpendikels) durch die spiegelnde Fläche geht.

2. Befindet sich ein leuchtender Punkt a (Fig. 533) zwischen zwei unter einem Winkel b c d gegen einander geneigten, ebenen spiegelnden Flächen b c und d c, so entsteht nicht blos hinter jeder dieser Flächen ein Bild, nämlich a_1 und a_2, wenn $a a_1$ und $a a_2$ auf d c und b c senkrecht stehen, ferner $a e = a_1 e$ und $a f = a_2 f$ ist; sondern es müssen, — da jedes dieser Bilder für die gegenüberstehende spiegelnde Fläche, a_1 für b c und a_2 für c d, gleichsam die Stelle wieder eines leuchtenden Punktes vertritt, (indem z. B. die Fläche b c die von c d reflektirten Strahlen 1, 2 so empfängt, als kämen sie von dem Bilde a_1 her u. s. w.) — hinter beiden Spiegelflächen mehrere Bilder zu Stande kommen (nämlich von a_1 in a_3 und von a_2 in a_4, wenn die Linien $a_1 a_3$ und $a_2 a_4$ auf den spiegelnden Ebenen b c und d c oder ihren Erweiterungen senkrecht stehen, ferner $a_3 m = a_1 m$ und $a_4 n = a_2 n$ ist, u. s. w.).

Fig 533.



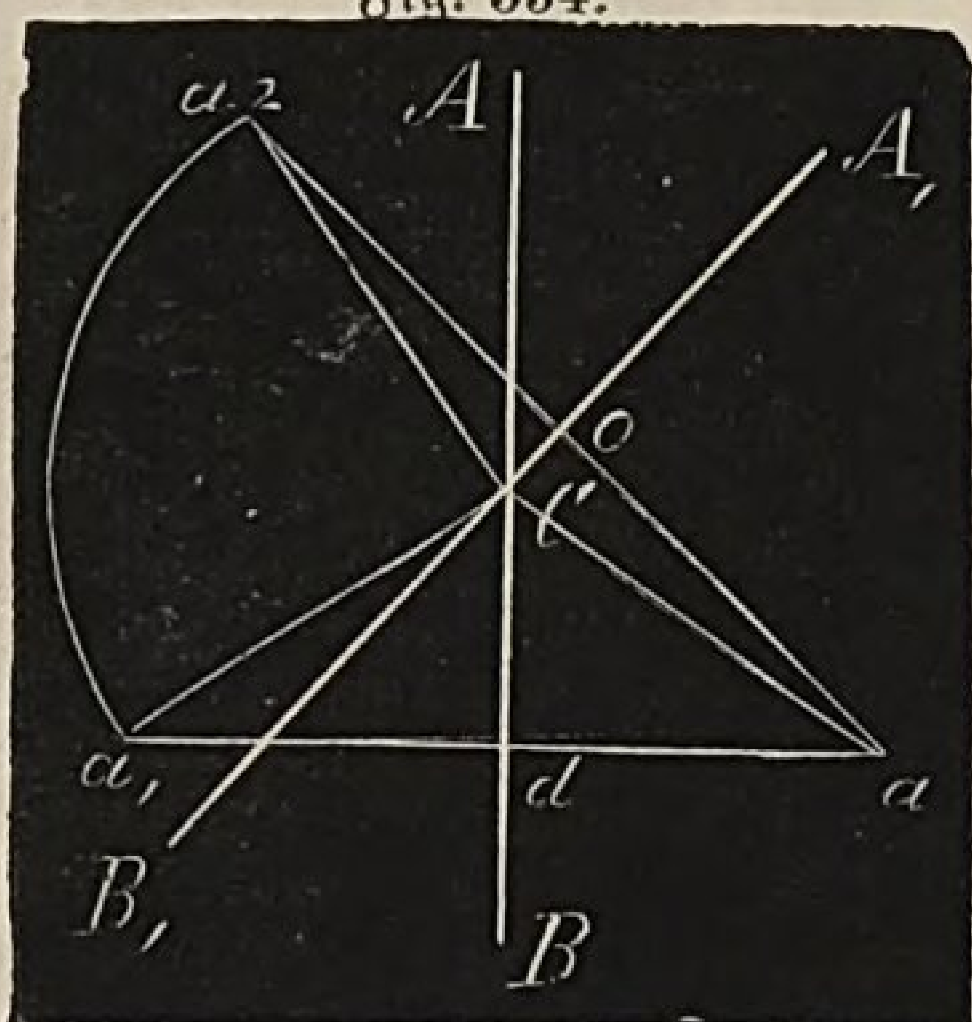
Nun folgt aus der Congruenz der Dreiecke $a_2 c f$ und $a c f$, worin $a_2 f = a f$, $f c$ gemeinschaftlich und $\angle a_2 f c = \angle a f c = 90^0$ ist, die Gleichung $a_2 c = a c$, und eben so folgen, da die Dreiecke $a c e$ und $a_1 c e$, dann $a_1 c m$ und $a_3 c m$, ferner $a_2 c n$ und $a_4 c n$ nach dem nämlichen Satze, wie die vorher betrachteten Dreiecke $a_2 c f$ und $a c f$ congruent sind, die Gleichungen $a c = a_1 c$, $a_1 c = a_3 c$, $a_4 c = a_2 c$ u. s. f. Es sind demnach die Entfernungen $a_1 c$, $a_2 c$, $a_3 c$, $a_4 c$ .... aller Bilder vom Durchschnittspunkte c gleich der Entfernung a c des leuchtenden Punktes davon, und es liegen daher alle Bilder in der Peripherie eines aus c mit dem Halbmesser a c beschriebenen Kreises. Es läßt sich leicht zeigen, daß diese Bilder und der leuchtende Punkt um die Durchschnittslinie der beiden Spiegel herum symmetrisch angeordnet liegen müssen und daß daher die Zahl der Bilder immer $= \frac{360^0}{b c d} - 1$, d. h. um 1 kleiner ist, als der Quotient, der erhalten wird, wenn man 360^0 durch die Anzahl Grade des Neigungswinkels der Spiegel dividirt, daß die Bilderzahl daher mit der Abnahme dieses Neigungswinkels wächst . . . (†). Daß das in Bezug auf Zahl und Anordnung der Bilder Gesagte in gleicher Weise gilt, wenn statt eines leuchtenden Punktes ein leuchtender Gegenstand innerhalb des Winkels der beiden Spiegel sich befindet, versteht sich von

selbst. Die äußerst schönen symmetrischen und regelmäßigen Figuren, welche das sogenannte **Kaleidoskop** zeigt, entspringen aus der Winkelspiegel-Wirkung. Es besteht nämlich das Kaleidoskop aus einer Röhre, welche zwei rechteckig geschnittene Planspiegel enthält, die so gegen einander geneigt sind, daß der Neigungswinkel ein Sechstel, Achtel, Zehntel o. dgl. von vier Rechten (360^0) beträgt und die Spiegel in einer mit der Axe der Röhre zusammenfallenden Linie einander schneiden. An dem einen Ende trägt die Röhre einen Deckel, welcher in der Mitte nur eine kleine Oeffnung zum Hineinsehen mit einem Auge hat, und an dem andern Ende ist sie mit zwei Glasscheiben geschlossen, welche parallel, gegen die Röhrenaxe senkrecht sind und zwischen sich verschiedenartige und bunte, am besten durchsichtige oder durchscheinende Körperchen enthalten, die beim Drehen der Röhre sich immer in andere Stellungen legen und so, da von jedem derlei Körperchen eine um die Röhrenaxe symmetrisch angeordnete Reihe von Bildern entsteht, die vorerwähnten mannigfaltigen, schönen und regelmäßigen Figuren verursachen, wenn sie auch noch so unregelmäßig gestaltet und unter einander gemengt sind. Damit das Auge beim Durchsehen nicht durch die außer der Röhre liegenden Gegenstände gestört werde, soll die äußere der besagten zwei Glasscheiben etwas mattgeschliffen sein. Daß das Auge die Bilder der seitwärts von den spiegelnden Flächen befindlichen Körperchen sehen **müsse**, ist nach dem oben unter **1.** Vorgetragenen für sich klar.

3. Befindet sich ein Gegenstand zwischen zwei einander parallel gegenüberstehenden (unter dem Winkel Null gegen einander geneigten) spiegelnden ebenen Flächen, so sollte das ebenfalls zwischen den Spiegeln befindliche Auge in diesen unendlich viele, in gerader Linie regelmäßig hinter einander angeordnete Bilder sehen, weil die von dem Gegenstande den Spiegeln zugesendeten Strahlen fortwährend zwischen diesen abwechselnd hin und her geworfen werden. Allein da das Licht durch Reflexion geschwächt wird und zwar desto mehr, eine je öftere Reflexion es erfährt; so sind die hinter den Spiegeln zu Stande kommenden entfernteren Bilder dem Auge nicht mehr merklich. Die besagte unendlich große Anzahl Bilder folgt aus der oben unter (†) aufgestellten Formel, wenn man darin den Neigungswinkel $bcd = 0$ setzt.

4. Wird die spiegelnde Ebene ACB (Fig. 534) um eine in ihr gelegene Axe C, z. B. aus der Lage AB in die Lage $A_1 B_1$ gedreht; so beschreibt das Bild a_1 eines vor AB befindlichen leuchtenden Punktes a einen Kreisbogen $a_1 a_2$ um diese Axe, dessen Halbmesser der Entfernung des Punktes a von genannter Axe gleich ist, und es ist der Drehungswinkel des Bildes doppelt so groß als jener des Spiegels, d. h. es ist $a_2 C a_1 = 2 B_1 CB$. Man hat nämlich, da $a a_1$ auf AB und $a a_2$ auf $A_1 B_1$ senkrecht steht, ferner $ad = a_1 d$ und $ao = a_2 o$ ist, die Winkel aCB ($= aCd$) $= a_1 CB$, und $aCo = a_2 Co$ also auch $aCB_1 = a_2 CB_1$, und mithin $a_2 CB_1 - a_1 CB = aCB_1 - aCB$. Addirt man beiderseits BCB_1 hinzu, so erhält man $a_2 CB_1 + B_1 CB - a_1 CB = aCB_1 - aCB + B_1 CB$ oder $a_2 CB - a_1 CB = B_1 CB + B_1 CB$ d. i. $a_2 C a_1 = 2 B_1 CB$, was zu erweisen war. Dieser Satz wurde schon in **207** bei Beschreibung der **Wheatstone**'schen Methode, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität zu bestimmen, mit der Bemerkung vorausgesetzt, daß er seinen Beweis in der Lehre vom Lichte finden werde.

Fig. 534.



Auf den Gesetzen der Reflexion des Lichtes an ebenen spiegelnden Flächen beruhen mehrere wichtige Instrumente und auch gewisse blos zur Unterhaltung dienende Vorrichtungen. Zu ersteren gehört unter Andern: der **Heliostat**, das **Reflexionsgoniometer**, der **Spiegelsextant**, der **künstliche Horizont**; und zu letzteren: das **Zauberperspektiv**, und der **Operngucker**.

1. Der **Heliostat**. Zu vielen optischen Untersuchungen braucht man in einem verfinsterten Zimmer Sonnenstrahlen, die darin eine gewisse, von jener der direkt dahin gelangenden verschiedene Richtung haben und unveränderlich bei derselben erhalten werden. Man bringt zu diesem Ende vor einer Oeffnung im Fensterladen des verfinsterten Zimmers einen Planspiegel an und gibt demselben gegen die einfallenden Sonnenstrahlen eine solche Stellung, daß diese von ihm in der erforderlichen Richtung durch die erwähnte Oeffnung ins Zimmer hinein zurückgeworfen werden. Nun aber ändert sich in jedem Augenblicke der Stand der Sonne und mithin auch die Richtung, nach welcher die Strahlen auf den besagten Plan-

spiegel auffallen, durch denselben reflektirt und ins Zimmer hineingeleitet werden. Es ist daher auch fortwährend die Stellung des Spiegels der Veränderung des Sonnenstandes entsprechend abzuändern, um die Strahlen im Zimmer bei der ihnen einmal ertheilten Richtung zu erhalten. Beides, nämlich das Leiten der Strahlen ins Zimmer nach gewisser Richtung und das Erhalten derselben bei letzterer, erreicht man mit einer für viele Zwecke hinlänglichen Genauigkeit durch die in Fig. 535 abgebildete Vorrichtung. **AB** ist eine starke 4eckige Messingplatte, die an dem Fensterladen angeschraubt wird und in welcher sich eine andere, kreisförmige, in der Mitte mit einer runden Oeffnung **E** zum Einlassen der Strahlen versehene Scheibe **CD**, ohne herausfallen zu können, leicht drehen läßt. Dieses Drehen wird mittelst eines in die Zähne am Umfange von **CD** eingreifenden und mit einem ränderirten Kopfe **k** versehenen Triebes **a** bewerkstelligt. Die kreisförmige Scheibe **CD** hat ferner an der rückwärtigen Seite, nahe am äußeren Rande, in einem Charnier **s** einen 4eckigen Planspiegel **PQ** befestigt, welcher daher immer zugleich mit **CD** um eine auf der Ebene der Messingplatte **AB** senkrechte, mithin horizontale Linie (x) gedreht wird. In Fig. 536, eine Ansicht des Apparates von rückwärts in größerem Maßstabe darstellend, sieht man die Charnierbefestigung des Spiegels und zugleich auch, daß man letzteren durch Drehen der Schraube ohne Ende **mn** jede beliebige Neigung gegen die Platte **AB**, also jede beliebige Bewegung um eine horizontale Linie (x) und gegen die Ebene von **AB** ertheilen könne. Der kreisrunde Charniertheil **o** hat nämlich am Umfange Zähne, in welche die vorerwähnte Schraube ohne Ende bei **n** eingreift. Indem man nun dem Spiegel durch Drehung um die Linie (x) eine solche Stellung gibt, daß seine spiegelnde Fläche gerade der Sonne zugewendet und seine Mitte mit jener der Sonne und der Oeffnung **E** in einer Ebene ist, und demselben hierauf mittelst der Schraube **mn** eine passende Neigung gegen den Fensterladen gibt, erhält man einen durch **E** ins Zimmer nach bestimmter Richtung eintretenden Strahl und kann durch sehr sanftes und hinreichend oft wiederholtes Weiterdrehen beider Schrauben den Sonnenstrahl sehr nahe unverrückt in der ihm gegebenen Richtung erhalten.

Fig. 535.

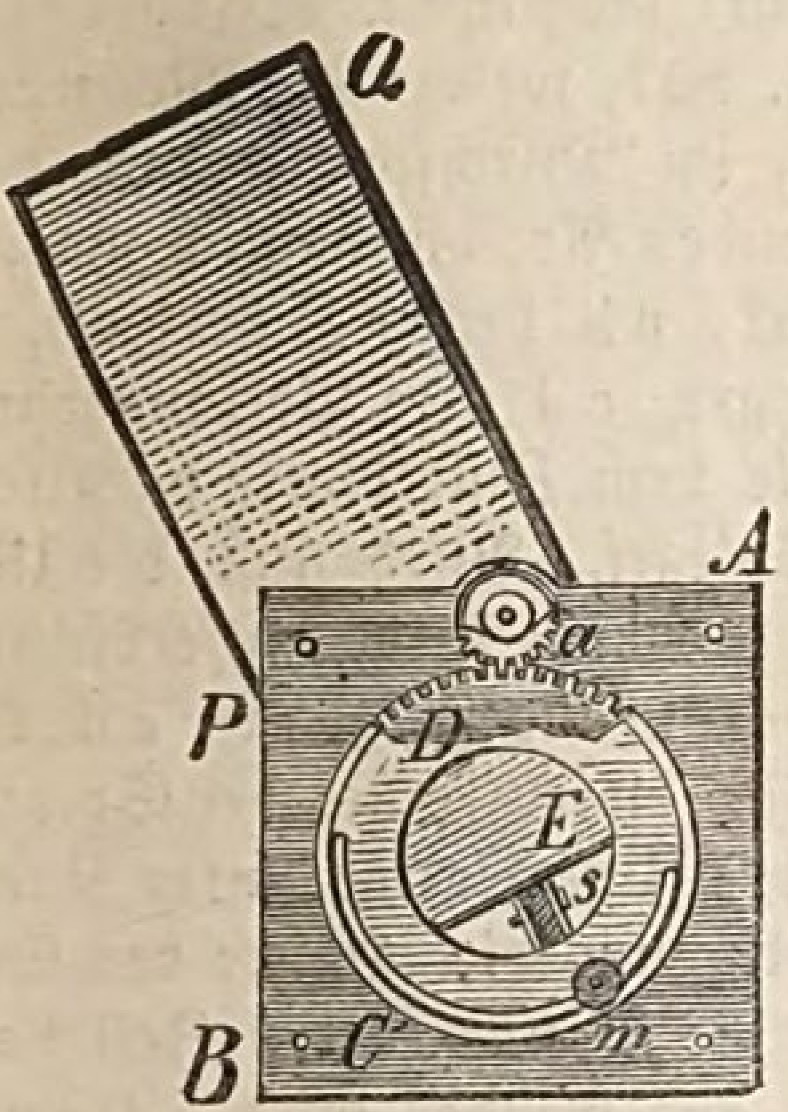
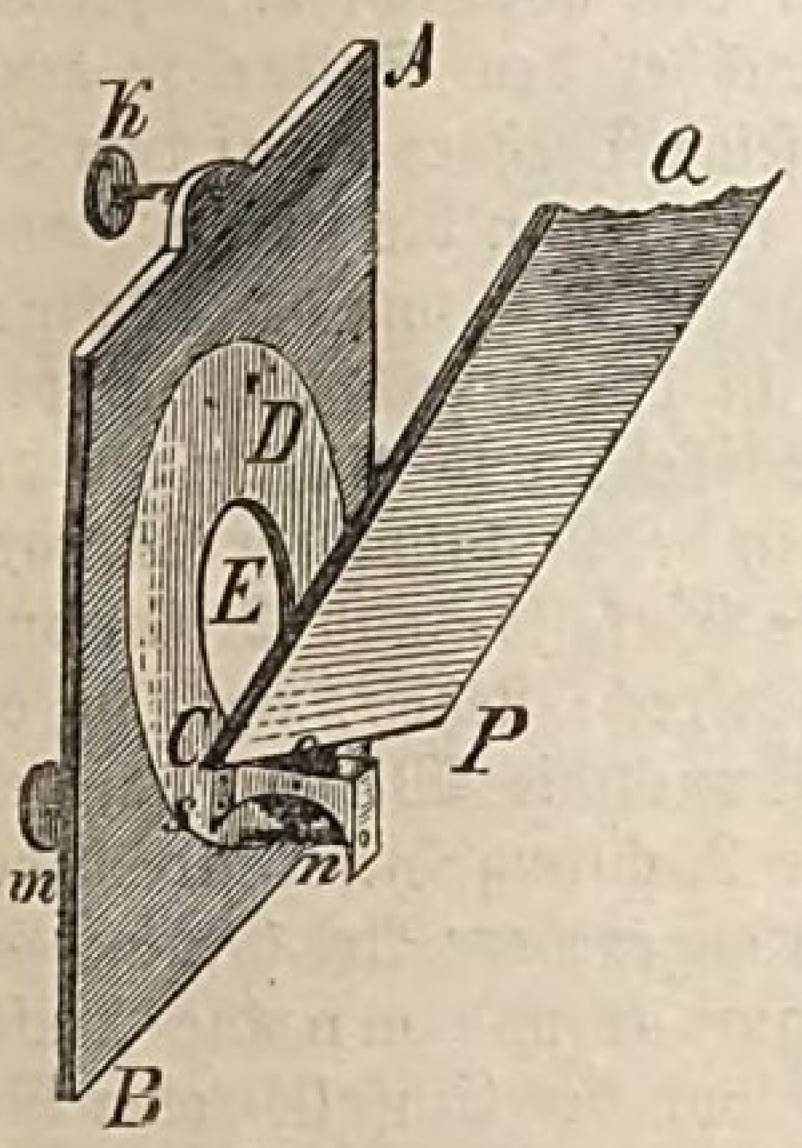


Fig. 536.

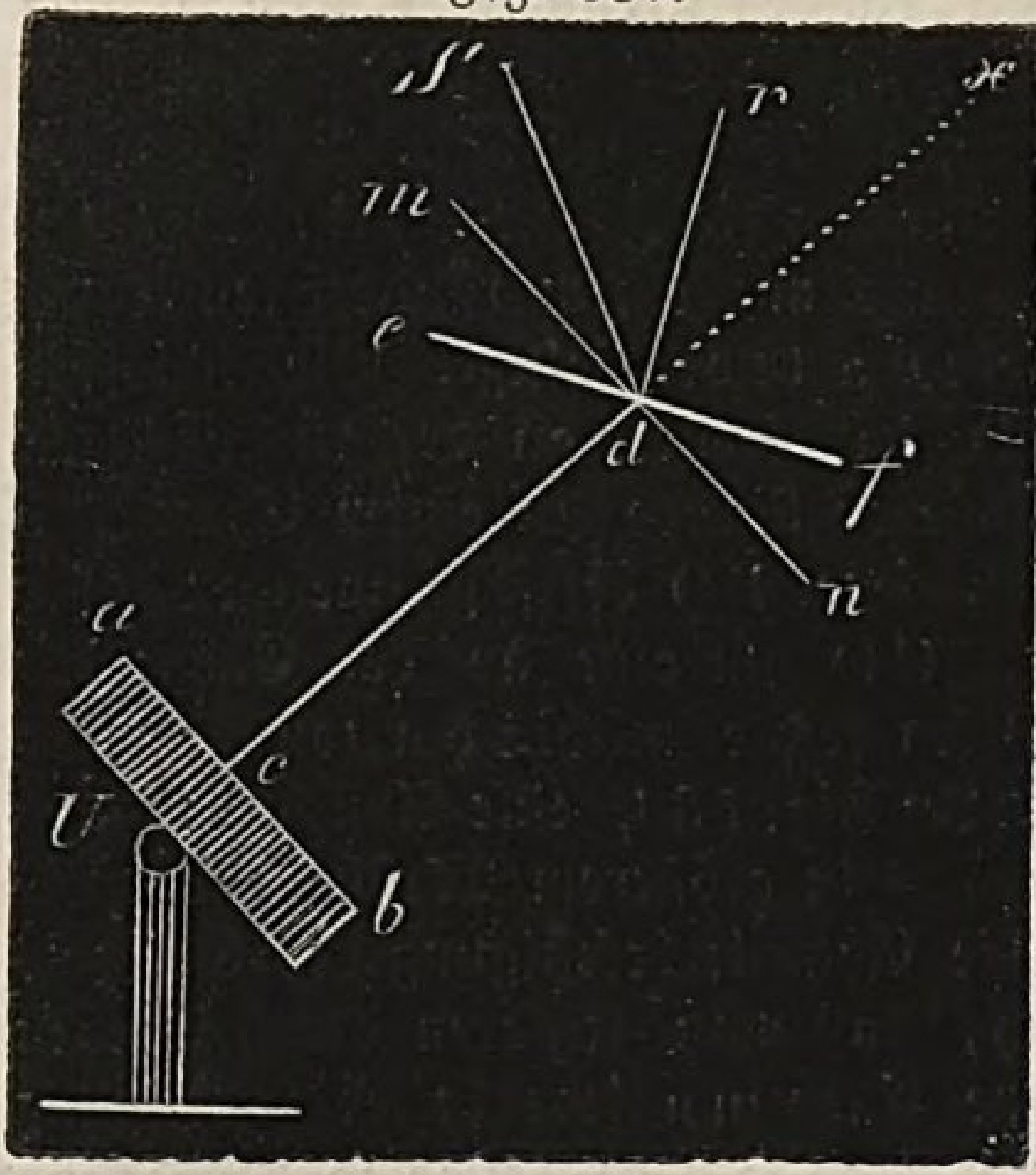


Um des beständigen Fortrückens des Spiegels mit der Hand enthoben zu sein und den Spiegel ununterbrochen und ganz gleichförmig der Sonne folgen zu machen, ertheilt man demselben die erforderliche Bewegung durch ein Uhrwerk, womit er vereinigt ist, und erhält so einen Apparat, der den Namen Heliostat, welchen man wohl auch der früher beschriebenen Vorrichtung gibt, vorzugsweise verdient. Der Beschreibung eines solchen Apparates muß des gehörigen Verständnisses derselben wegen Folgendes vorausgeschickt werden. Es ist völlig genügend, wenn der mit dem Uhrwerke in Verbindung stehende Spiegel die Sonnenstrahlen immer nur nach einer einzigen fixen Richtung zurückwirft, weil man ihnen dann mittelst eines zweiten Spiegels, mit welchem man sie nach der Reflexion vom ersten Spiegel auffängt, leicht jede beliebige andere Richtung geben kann. Die einfachste Einrichtung des

Heliostats wird dadurch möglich, daß die vorerwähnte, einzige fixe Richtung, nach welcher der Uhrwerk-Spiegel die Sonnenstrahlen reflektirt, jene der Weltaxe ist. Zu einer solchen Einrichtung bedarf es nur einer Uhr, bei welcher die den Stundenzeiger tragende Axe anstatt in 12, in 24 Stunden genau einen Umlauf macht, ferner die Richtung der Weltaxe hat und am Ende ihrer entsprechend weit über das Zifferblatt hinausgehenden Verlängerung einen Planspiegel trägt, der sich um eine in seiner Ebene liegende und auf der Zeigeraxe senkrechte, mithin dem Uhrzifferblatte parallele Axe drehen und in jeder der auf diese Art möglichen, verschiedenen Neigungen gegen das Zifferblatt feststellen läßt. In Fig. 537, welche die Wesenheit dieser Anordnung im Durchschnitte nach der den Spiegel tragenden Axe anschaulich macht, ist **U** das Uhrwerk, **ab** dessen Zifferblatt, **c** die Stundenzeigeraxe, **cd** ihre Verlängerung und **ef** der um die dem Zifferblatte parallele Axe **d** drehbare Spiegel. Wird nun die Uhr so gestellt, daß die Ebene ihres Zifferblattes dem Aequator, mithin die Zeigeraxe **cd** der Weltaxe parallel ist; wird ferner der Spiegel gegen die Ebene des Zifferblattes unter einem Winkel geneigt, der um die Hälfte der Deklination, welche die Sonne zu der Zeit hat, wo der Heliostat angewendet wird, kleiner oder größer als 45° ist, je nachdem die besagte Deklination eine nördliche oder südliche ist, kehrt man nachher den Spiegel so gegen die Sonne, daß seine Dreharxe **d** auf dem Deklinationskreise der Sonne senkrecht steht . . . (I) und setzt dann die Uhr in Gang; so wirft der Spiegel die Sonnenstrahlen fortwährend in der Richtung der Weltaxe, also in der Richtung von **dx** zurück . . . (II). Denn ist die Zifferblattebene dem Aequator parallel, **mn** eine dem Zifferblatte parallele Ebene und **Sd** ein auf den Spiegel fallender Sonnenstrahl; so muß, wenn dieser in der Richtung der Weltaxe, d. i. nach **dx** zurückgeworfen werden soll, erstens die Einfalls- und Reflexionsebene, nämlich die Ebene **Sdx** auf dem Aequator senkrecht stehen, und in die Ebene des Deklinationskreises der Sonne fallen (weil auch die Weltaxe auf dem Aequator senkrecht steht und der reflektirte Strahl die Richtung dieser Axe haben soll), und dieser Bedingung ist auf die oben unter (I) angegebene Art Genüge geleistet; zweitens muß, vorausgesetzt, daß in der Figur **ef** und **mn** die Linien vorstellen, in welchen der Spiegel und das Zifferblatt von der Einfalls- oder Reflexionsebene **Sdx** durchschnitten werden, der Winkel **ndx** oder **ndf + fdx** ein Rechter sein. Ist aber **dx** wirklich die Richtung des reflektirten Strahles, und **dr** das Einfallsloth; so hat man, wegen Gleichheit des Einfallswinkels **Sdr** und des Reflexionswinkels **rdx**, $fdx = edS = edm + mdS = ndf + mdS$, folglich

$2\,ndf + mdS = 90^0$; also $ndf = 45^0 - \frac{1}{2} mdS$; (denn es ist $edm + mdS + Sdr = 90^0$...(III); eben so $mdS + Sdr + rdx = 90^0$, mithin $edm + mdS + Sdr = mdS + Sdr + rdx$ und daher $edm = rdx$; hieraus und aus der Gleichung $edm + mdS + rdx = 90^0$, welche aus Gleichung (III) und aus der Gleichheit der Winkel **Sdr** und **rdx** als Einfalls- und Reflexionswinkel folgt, ergibt sich $2\,edm + mdS = 90^0$ oder wegen $edm = ndf$, $2\,ndf + mdS = 90^0$ und endlich $ndf = 45^0 - \frac{1}{2} mdS$). Da nun der Winkel **ndf** die Neigung des Spiegels gegen die Ebene des Uhrzifferblattes und **mdS** die nördliche Deklination der Sonne darstellt, man ferner leicht nachweisen kann, daß, wenn die Deklination der Sonne eine südliche ist, **mdS** das Zeichen + be-

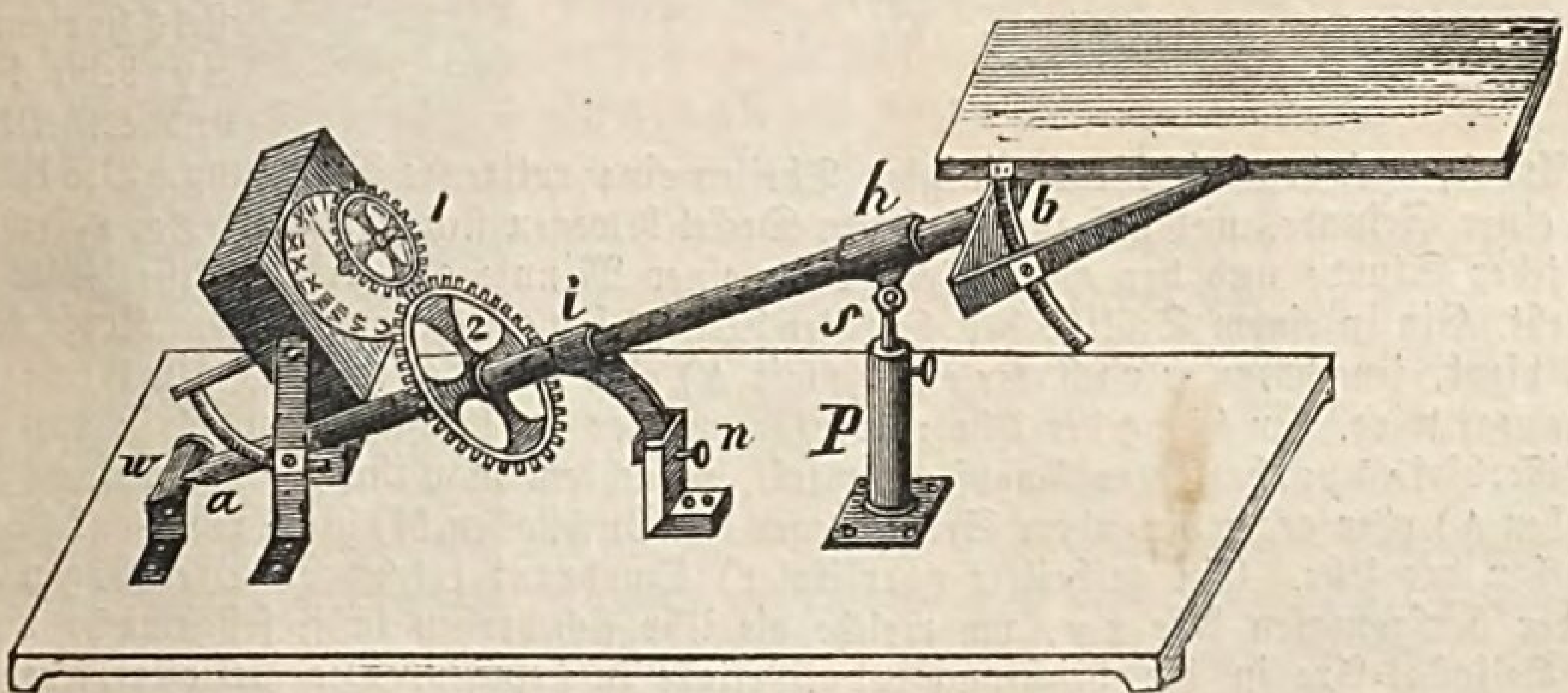
Fig. 537.



kömmt; so findet bei Erfüllung der oben unter (I) angegebenen Bedingungen die Reflexion des Sonnenlichtes in der Richtung der Weltaxe wirklich Statt. Zum Behufe der Anordnung des Apparates ist daher zuerst die Uhr mit der die Verlängerung der Stundenzeigeraxe bildenden Spiegelaxe so aufzustellen, daß, während diese letztere Axe in der Meridianebene des Ortes liegt, wo der Apparat angewendet wird, das Uhrzifferblatt gegen den Horizont unter einem der Aequatorshöhe dieses Ortes gleichen Winkel geneigt ist, und hierauf ist der Spiegel, nachdem seine Ebene die erforderliche, oben unter (I) ausgesprochene Neigung gegen die Ebene des Zifferblattes erhalten hat, so nach der Sonnenscheibe zu kehren, daß deren Mittelpunkt in einer durch die verlängerte Zeigeraxe gehenden und auf der Spiegelfläche senkrecht stehenden Ebene liegt. Letzteres läßt sich sicher und leicht bewerkstelligen, wenn an der Axe des Zifferblattes noch ein Zeiger vorhanden ist, der gegen die Neigungsaxe des Spiegels (die in der Figur mit d bezeichnete Axe) senkrecht steht: denn dann hat man nur, vorausgesetzt, daß die Bezifferung des Uhrblattes gehörig orientirt, d. h. die Zahl 12 in der Ebene des Meridians befindlich ist, den besagten Zeiger so zu richten, daß er auf der Uhr die eben stattfindende wahre Sonnenzeit anzeigt.

Die Stelle der Vierundzwanzigstundenuhr, die oben als zum Heliostat erforderlich angegeben wurde, kann auch eine gewöhnliche Zwölfstundenuhr vertreten, wenn diese an der Stundenzeigeraxe ein Zahnrad aufgesteckt hat, welches in ein zweites doppelt so viele Zähne enthaltendes Rad eingreift, das auf der den Spiegel tragenden Axe, die, abgesondert vom Uhrwerke, der Zeigeraxe parallel in eigenen Lagern ruht, festgemacht ist. Die Fig. 538 macht dies und

Fig. 538.

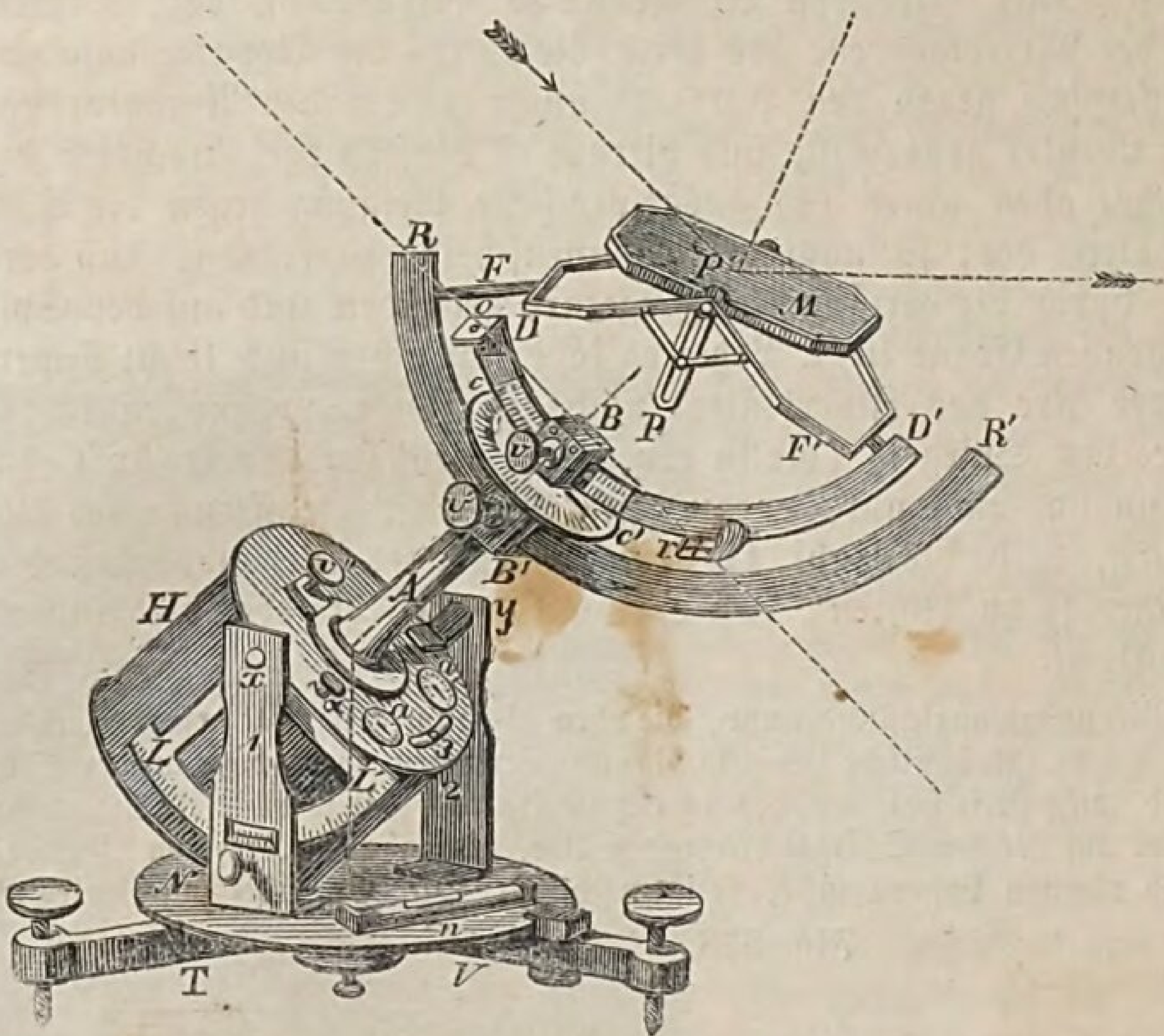


zugleich auch einen sehr einfachen Mechanismus anschaulich, welcher die oben beschriebene Einstellung des Uhrzifferblattes, des Spiegels und der denselben tragenden Axe in leichter Weise gestattet. w ist eine kleine, um eine horizontale Axe drehbare Walze, welche das eine Lager der Spiegelaxe a b bildet, deren unteres, körnerartig gestaltetes Ende in einer Vertiefung am Umfange von w ruht. h ist eine die Axe a b umschließende und ihr zweites oberes Lager bildende Messinghülse, die in einem Gelenke s mit einem prismatischen, im Postamente P höher und niedriger stellbaren Stabe vereinigt ist. Eine zweite, die Axe a b umschließende Hülse i, welche in der Richtung des mittelst der Schraube n in vertikaler Ebene verstellbaren Kreisbogens beweglich ist, dient blos dazu, dieser Axe eine festere Lage zu geben. Anstatt der gezähnten Räder 1, 2 können auch zwei Rollen substituirt werden, wovon die eine einen doppelt so großen Durchmesser hat als die andere und welche beide von einer gemeinschaftlichen Schnur ohne Ende umfangen sind. In diesem Falle kann nicht nur, so wie in dem vorigen, die Uhr der Axe a b zur Seite stehen, sondern ihr Zifferblatt, ohne daß der Heliostat seinen Zweck zu erfüllen aufhört, auch eine vertikale Stellung bekommen, so daß eine ganz gewöhnliche Stockuhr verwendbar ist. Endlich braucht wohl nicht erst bemerkt zu werden, daß der Spiegel des Heliostats ein Metallspiegel sein soll, weil ein gläserner Spiegel wegen der mehrfachen Bilder, die er gibt, den ganzen Apparat zu feineren und genaueren optischen Versuchen unbrauchbar macht.

Der in jeder Beziehung (nämlich sowohl was Genauigkeit in der Leistung als Einfachheit in der Construktion und Bequemlichkeit beim Gebrauche anbelangt) vorzüglichste Heliostat,

ist der von Silbermann angegebene. Es folgt hier eine gedrängte Beschreibung dieses Apparates (nach einem von Duboscq in Paris ausgeführten und in Fig. 539 abgebildeten

Fig. 539.



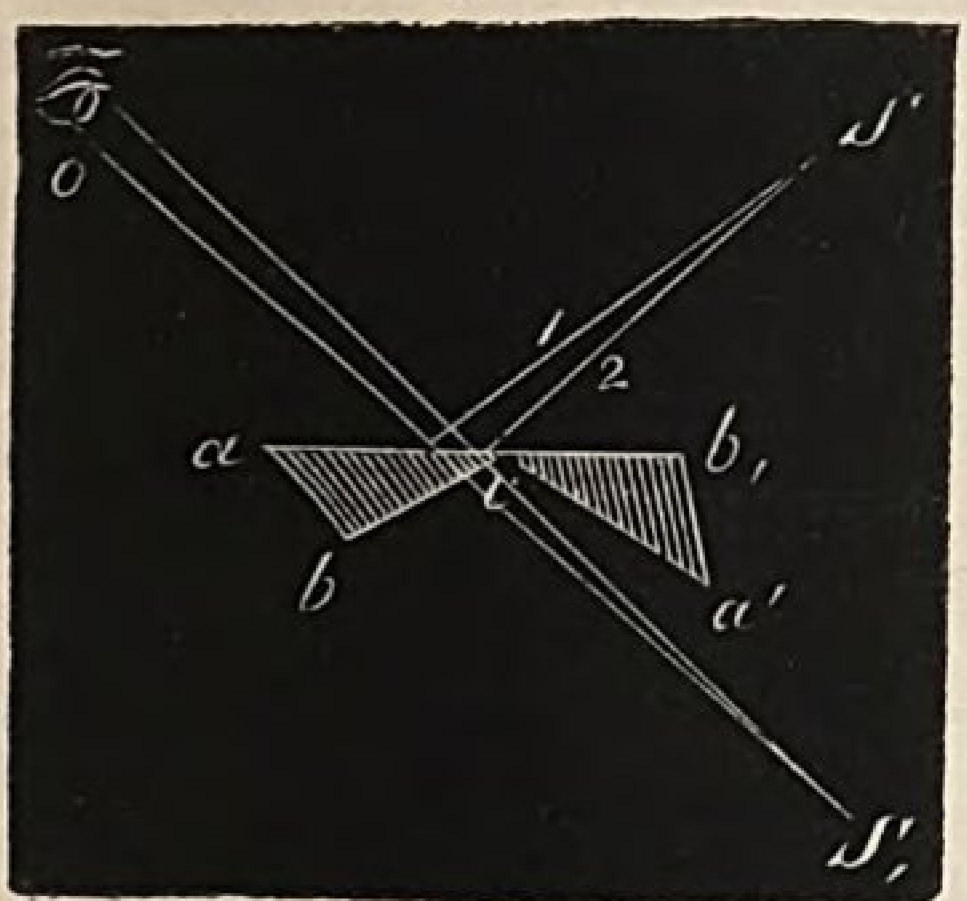
Exemplare) und dessen Gebrauchsanweisung, ohne daß auf die theoretische Begründung beider eingegangen werden kann. T ist ein horizontaler Dreifuß mit Stellschrauben. Um eine durch den Mittelpunkt dieses Fußes gehende Axe dreht sich eine mit einer Wasserwage n versehene horizontale Scheibe N, auf welcher sich zwei vertikale Stützen 1, 2 erheben, welche die Uhr und den Spiegel tragen. Diese Scheibe läßt sich mittelst der Druckschraube V in jeder beliebigen Stellung fixiren. Die Uhr H kann um eine stets horizontale Axe xy bewegt werden, und ertheilt der Heliostat-Axe A_1 und den mit ihr vereinigten Theilen eine rotirende Bewegung. Die Uhr schlägt Viertel einer Sekunde, und auf ihrem oberen Deckel bewegen sich zwei Zeiger a, a_1, wovon der eine in jeder Stunde und der andere immer in einer Minute auf seinem Zifferblatte ein Mal herumgeht. Ein in einem Schlitze des besagten Deckels beweglicher, mit einem Kopfe versehener Stift 3 dient, jenachdem er nach der einen (mit A) oder nach der andern (mit R) bezeichneten Seite bewegt wird, den Gang der Uhr zu verzögern oder zu beschleunigen. Ein oberhalb des einen Zifferblattes vorhandenen Knopf α bewirkt, jenachdem man ihn gegen die eine (gegen den Buchstaben A) oder gegen die andere Seite (gegen den Buchstaben M) hin dreht, das Stillstehen oder Gehen der Uhr. Ein getheilter (vertikaler) Quadrant L L', der Breitebogen genannt, ist an der horizontalen Axe xy, um welche die Uhr sich drehen läßt, festgemacht und dient, um die Heliostat-Axe in die Richtung der Weltaxe zu bringen. Die Heliostat-Axe, in einer doppelten cylindrischen Hülle eingeschlossen, macht in 24 Stunden einen Umlauf und trägt am oberen Ende eine kubische Büchse B, die daher an der Rotation Theil nimmt und welche am Umfange einen Zeiger trägt, der die Bestimmung hat, auf einem Zifferblatte C C', daß auf der äußeren Hülle der Heliostat-Axe und senkrecht gegen sie befestigt ist, die wahre Stunde (Zeit) zu markiren. Durch die Büchse B bewegt sich, parallel zur Axe, ein Bogen D D', welcher Deklinationsbogen heißt, und auf der einen Seite in Grade, auf der andern hingegen in Tage und Monate getheilt ist. Um den Heliostat allen geographischen Breiten anpassen zu können, müssen sich dem Deklinationsbogen alle möglichen Positionen geben lassen. Die äußere Hülle der Heliostat-Axe trägt eine zweite kubische Büchse B', welche sich um die Axe A_1 drehen kann und bei dieser Drehung den Reflexionsbogen R R' mitnimmt, der durch sie mit Reibung hindurchgeht. Der Spiegel M wird durch zwei polygonale Gabeln F, F' getragen, wovon die eine (F') am Deklinationsbogen R R' fixirt ist. Bei P bilden die Gabeln ein bewegliches Parallelogramm, dessen Diagonale P P' immer perpendikulär auf dem Spiegel bleibt und den Winkel, den die beiden Gabeln gegen einander bilden, in zwei gleiche Theile theilt. Durch diese Einrichtung wird bewirkt, daß die parallel zu den Gabelstielen einfallenden und reflektirten Strahlen mit der auf dem Spiegel Normalen gleiche Winkel machen, was zur Folge hat, daß die in der Ebene des Deklinationsbogens auffallenden Strahlen beständig in der Ebene des Reflexionsbogens zurückgeworfen werden.

Gebrauch des Heliostats. 1. Man stellt den Breitenbogen so ein, daß sein Nonius die geographische Breite des Ortes, wo der Heliostat gebraucht wird, in Graden und Minuten anzeigt; es ist dann die Heliostat-Axe, um sie der Weltaxe parallel zu machen, hergerichtet.

2. Man macht nun die Scheibe N genau horizontal, indem man sie in zwei um 90° verschiedene Positionen dreht und mittelst der Stellschrauben im Dreifuße dafür sorgt, daß in beiden Positionen die Luftblase der Wasserwage immer genau in der Mitte des Niveaus einspielt. Die Stabilität des Instrumentes erheischt, daß sein Schwerpunkt über jenen der 3 Füße des Postamentes falle, welcher die zum Feststellen der Scheibe N dienende Druckschraube V trägt. 3. Man macht den Nonius am Deklinationsbogen die Deklination in Graden und Minuten anzeigen, welche die Sonne an dem betreffenden Tage hat und die den Ephemeriden entnommen wird, oder einfacher, man führt den Strich, der zu diesem Zwecke auf dem hintern Theile des Nonius gezogen ist, auf den stattfindenden Tag des Monats und zieht nachher die Schraube v fest an. 4. Man stellt den Zeiger an der Büchse B am Stundenkreise C C' auf die wahre Stunde. Ist dies Alles geschehen, so sieht man, ob ein durch das Diopter o am Ende D des Deklinationsbogens DD' gegangene Sonnenstrahl auf das Centrum des an demselben Deklinationsbogen vorhandenen Schirmes r falle, und kann, wenn dies der Fall ist, nun versichert sein, daß der Heliostat vollkommen orientirt sei. 5. Mit Hilfe eines Schlüssels, der auf den 4eckigen Stahlzapfen an der der Schraube v entgegengesetzten Seite der Büchse B aufgesteckt wird, bindet man, indem dieser Zapfen gedreht wird, die Büchse an die Heliostat-Axe, so daß die Rotirung der letzteren den Deklinationsbogen, den Spiegel u. s. w. nach sich zieht. 6. Endlich bewegt man den Reflexionsbogen RR' in die Höhe oder abwärts, indem man ihn gleichzeitig um die Heliostat-Axe dreht, bis der vom Spiegel M zurückgeworfene Sonnenstrahl auf den zu beleuchtenden Punkt fällt und stellt dann den Bogen RR' und hierauf den Spiegel fest, indem man die Schraube v' und auch die Schraube v'' anzieht, welche auf dem Uhrdeckel angebracht ist; der Heliostat funktionirt nun.

2. **Wollaston's Goniometer.** Unter den auf der Reflexion des Lichtes beruhenden und deshalb Reflexionsgoniometer genannten Instrumenten zum Messen der von zwei spiegelnden Flächen gebildeten, ebenen Krystallwinkel verdient das am häufigsten in Anwendung befindliche Goniometer von Wollaston einen der ersten Plätze. Folgendes wird die Theorie und das Wesen dieses sinnreichen Instrumentes deutlich machen. Es sei **a b c** Fig. 540 der Durchschnitt eines Krystalls, **a c b** der zu messende Winkel, und seine Kante stehe auf der Ebene des Papiers senkrecht; ferner seien 1, 2 ... Strahlen, die von einem leuchtenden Punkte **S** auf die eine der den zu messenden Winkel einschließenden Flächen z. B. auf **a c** und zwar sehr nahe an der Winkelkante auffallen und nach **o** hin reflectirt

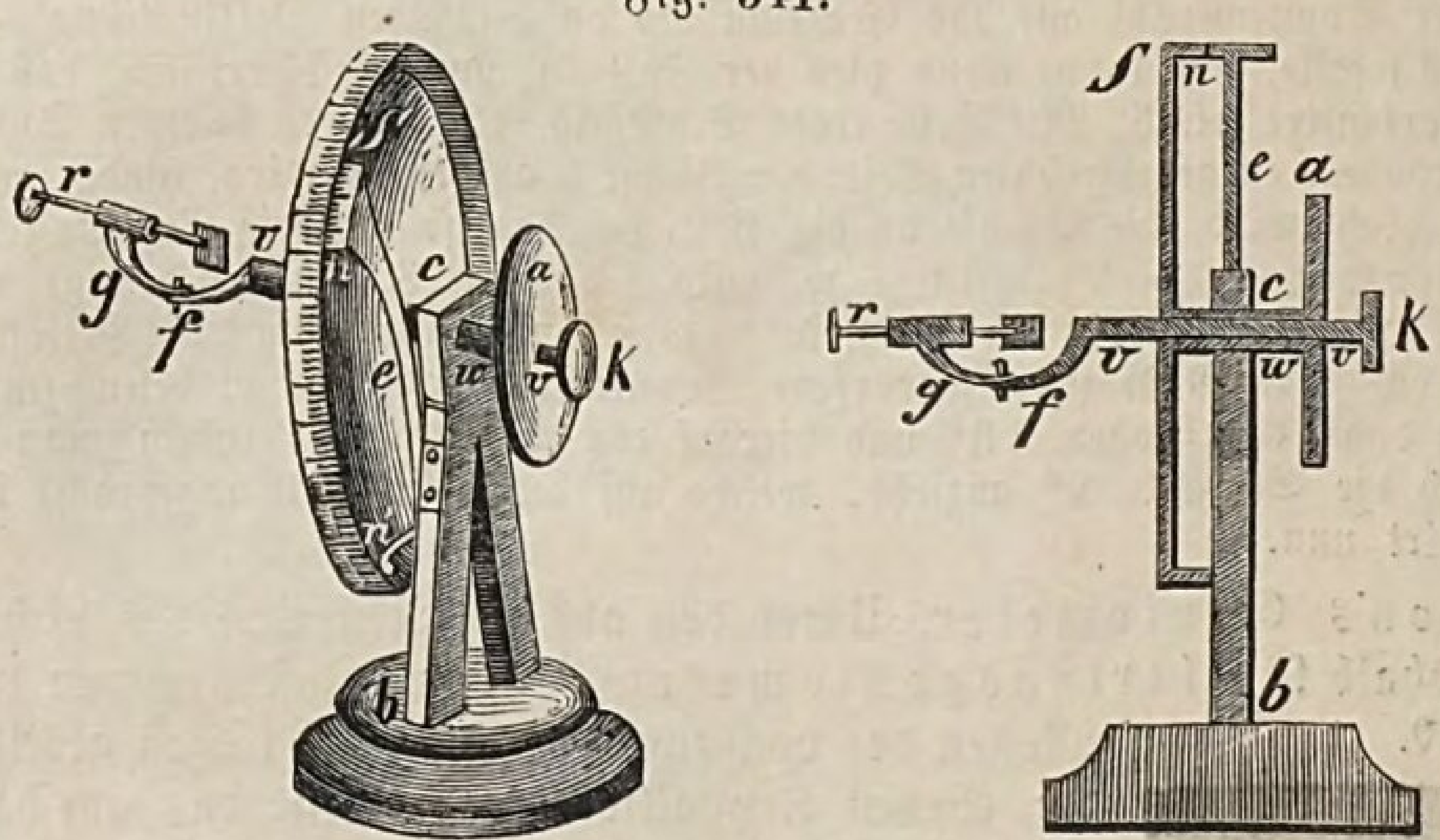
Fig. 540.



werden. Befindet sich in ihrer Richtung, z. B. in **o**, das Auge des Beobachters, so sieht dieser das Bild von **S** an dem Platze S_1, wo es mit einem bestimmten Punkte (z. B. des Fußbodens im Zimmer, wo der Versuch vor sich geht), zusammenfällt. Wird nun der Krystall um die Kante **c** des zu messenden Winkels so lange gedreht, bis die zweite diesen Winkel einschließende Fläche **b c** genau in die Lage der Verlängerung von **a c** kommt, der Krystall also die Stellung $a_1 c b_1$ hat; so erscheint, vorausgesetzt, daß das Auge seinen Standpunkt in **o** nicht verändert hat, zu Folge jetzt stattfindender Reflexion der von **S** auf cb_1 sehr nahe an **c** auffallenden Lichtstrahlen, das Bild von **S** wieder in S_1. Man hat aber nun offenbar den Krystall um den Winkel bcb_1 gedreht, welcher 180° weniger dem zu messenden Winkel gleich ist, so daß man $acb = 180^0 - bcb_1$ ... (1) hat. Man hat demnach, um das Maß eines ebenen, von spiegelnden Flächen gebildeten Winkels eines Krystalles (oder andern Körpers) zu erhalten, letzteren in eine solche Lage zu bringen, daß man in einer dieser Flächen das Bild eines vor derselben befindlichen leuchtenden Punktes (oder Gegenstandes) nahe an der Kante des zu messenden Winkels, in einer auf dieser Kante senkrechten Ebene und an einer bestimmten Stelle hinter dieser Fläche sieht, hierauf ist bei unverrückter Stellung des Auges der Krystall so lange um die besagte Kante zu drehen, bis

die zweite der erwähnten Krystallflächen durch Spiegelung das Bild des nämlichen leuchtenden Punktes (oder Gegenstandes) wieder ganz nahe der nämlichen Kante und an derselben Stelle hinter der Fläche, wie im vorigen Falle, zeigt (was ein Beweis ist, daß diese Fläche jetzt in der Erweiterung der ersteren Fläche liegt, mithin der Winkel, um welchen der Krystall gedreht wurde und jener, um dessen Maß es sich handelt, zusammen = 180^0 sind), und endlich hat man den gemessenen Drehungswinkel von 180^0 abzuziehen. Die Differenz ist offenbar das gesuchte Maß. Es handelt sich daher nur noch um eine Vorrichtung, welche diese Operationen mit Sicherheit und Bequemlichkeit auszuführen gestattet, und eine solche ist das Wollaston'sche Goniometer, welches in Fig. 541 in perspectivischer Ansicht und im Vertikaldurchschnitte nach der Axe **v U** abgebildet ist. Es besteht in seiner einfachsten Gestalt aus einer kreisrunden vertikalen, am Umfange getheilten Scheibe **S** mit zugehörigem Nonius **n**, die sich mittelst einer horizontalen Welle **w** und der mit ihr vereinigten, ränderirten Scheibe **a** im Ständer **b c** drehen läßt, während der mittelst des Armes **e** am Ständer befestigte Nonius **n** fix bleibt. Durch eine in der Welle **w** der Länge nach vorhandene Bohrung geht concentrisch eine andere Welle **v** hindurch, die an dem einen Ende einen ränderirten Knopf **K** zum Drehen derselben trägt, an dem zweiten, auf der andern Seite der Scheibe **S** aus deren Ebene hervorragenden Ende aber einen Bogen **f** festgemacht hat, an dessen Ende wieder ein zweiter, um eine gegen die Welle **v** senkrechte Axe mit Reibung drehbarer Bogen **g** vorhanden ist. In einer federnden Hülse am Ende dieses Bogens läßt sich ein rundes Stäbchen **r** streng hin und her schieben und drehen, das an seinem der Scheibe **S** zugekehrten Ende ein Scheibchen trägt, woran der betreffende Krystall mit etwas Wachs festgeklebt wird. Die Welle **v** ist in der Welle **w** mit solcher Reibung eingeschlossen, daß sie mitgenommen wird, wenn man die Welle **w** dreht, sich jedoch auch unabhängig von letzterer, (wenn diese nämlich festgehalten wird) leicht drehen läßt. Mit der Welle **v** zugleich drehen sich auch die durch ein Charnier vereinigten Bögen **f**, **g**. Beim Gebrauch des Instrumentes wird der Krystall (oder andere Körper), der den zu messenden Winkel enthält, mit Wachs an der oben bezeichneten Stelle befestigt und hierauf durch entsprechende Verstellung des Bogens **g** und des Stäbchens **r** der betreffenden Winkelkante eine solche Stellung gegeben, daß sie mit der verlängerten Richtung der den beiden Wellen **w** und **v** gemeinschaftlichen inneren Drehaxe zusammenfällt oder ihr wenigstens parallel ist. Man erkennt dies daran, daß das Bild eines entfernten, schmalen, horizontalen Gegenstandes, z. B. einer horizontalen Fensterleiste, horizontal (mit einem andern horizontalen Objekte, z. B. einer andern tiefer gelegenen Fensterleiste, oder einer am Fußboden zu den besagten Leisten parallel gezogenen Linie u. s. w. zusammenfallend) erscheint, wenn man es zuerst in der einen, und dann, nach entsprechender Drehung des Krystalls, in der andern der den zu messenden Winkel einschließenden Flächen sieht. Hat man dies erreicht, so schreitet man zum Messen des Winkels. Man stellt zu diesem Ende die

Fig. 541.



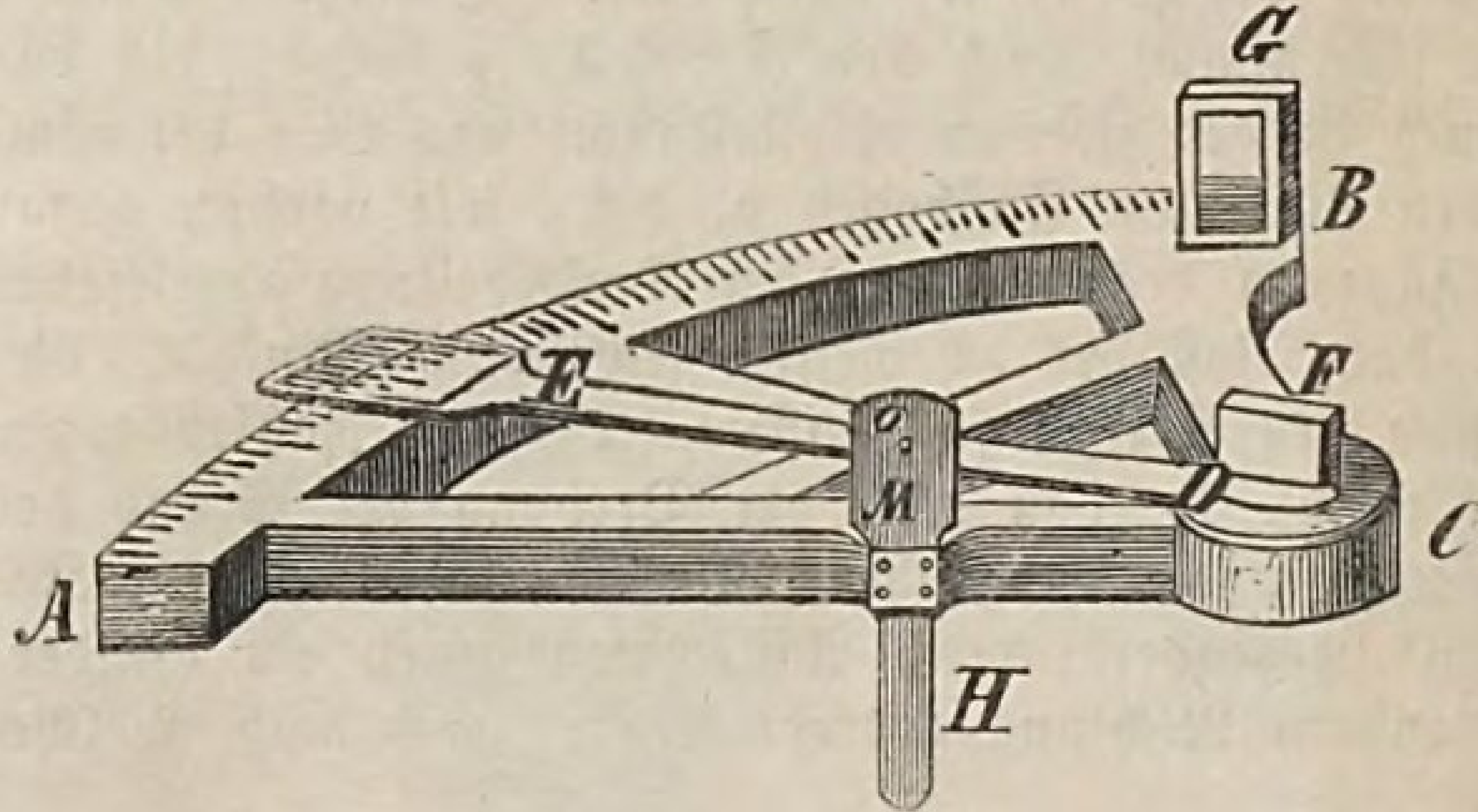
vorher genau in vertikale Richtung gebrachte Scheibe **S** so, daß der Nullpunkt ihrer Theilung mit jener des Nonius coincidirt, dreht jetzt den Krystall mittelst der inneren Welle v und bei unverrücktem Stande der Welle w so, daß das oben beschriebene genaue Zusammenfallen des Bildes einer Fensterleiste o. dgl. mit einer andern oder mit der besprochenen Linie am Fußboden u. s. w. von dem nahe am Krystall gehaltenen Auge beobachtet wird. Hierauf ergreift man die Scheibe a, dreht mittelst derselben die Welle w, durch diese den getheilten Kreis und, da sie die Welle v mit sich nimmt, auch den Krystall, so lange, bis das unverrückt gebliebene Auge auch in der zweiten Krystallfläche das Bild der nämlichen Fensterleiste mit derselben Linie am Fußboden o. dgl., wie vorher, genau zusammenfallen sieht. Die Ergänzung des nun auf der Kreistheilung abgelesenen Drehungswinkels zu 180° ist das Maß des zu messen gewesenen Winkels. Gewöhnlich ist schon die Theilung des Kreises so beziffert, daß die Zahlen gegen die Richtung der Drehung wachsen, so daß nach der Drehung der Stand des Nonius gegen den Kreis unmittelbar den fraglichen Winkel gibt. Eine am Instrumente vorhandene Feder n′ verhindert durch Anstemmen gegen ein Hinderniß, daß der Kreis in einer andern Richtung gedreht werde, als nach welcher die Theilungsziffern wachsen.

Es ist wichtig, daß der horizontale Visirgegenstand (dessen Bild man in den Krystallflächen beobachtet,) hell beleuchtet sei, und daß sein Bild wo möglich auf dunklem Grunde erscheine, damit die Coincidenz dieses Bildes mit dem andern gewählten Objecte (der Linie am Fußboden o. dgl.) sich um so sicherer beurtheilen lasse. Auch soll der besagte Visirgegenstand weit vom Auge abstehen, weil man da manche kleine Größe vernachlässigen kann, die bei geringer Entfernung dieses Gegenstandes auf das Resultat der Messung Einfluß nimmt. So sollte z. B. streng genommen die Kante des Krystalls am zu messenden Winkel genau in die Drehare des Instrumentes fallen; ist aber der Visirgegenstand weit entfernt, so genügt es, wenn diese Kante und Are einander nahe und parallel sind. Ferner soll das Auge während des ganzen Versuches unverrückt bleiben, denn jede Verrückung des Auges hat zur Folge, daß die bereits stattgehabte Coincidenz der Bilder aufhört und man den Krystall neuerdings etwas drehen muß, um sie wieder herzustellen u. s. w. Diese Störung der Coincidenz beträgt bei der nämlichen Verrückung des Auges desto weniger, je weiter das Visirobject von demselben entfernt, aber auch je kleiner die dieses Object abspiegelnde Krystallfläche ist. Aus letzterem Umstande folgt zugleich, daß man, wenn mehrere Krystalle derselben Beschaffenheit zu Gebote stehen, immer die betreffenden Messungen an den kleineren Exemplaren vornehmen soll. Am leichtesten werden alle diese Schwierigkeiten dadurch beseitigt, daß man als Visirobject ein helles Kreuz anwendet, welches erhalten wird, indem man in einem (am besten geschwärzten) Bogen Kartenpapier oder Pappendeckel zwei schmale, einander rechtwinklig durchkreuzende Spalten einschneidet und den besagten Bogen dann so am obern Theil eines Fensters festmacht, daß eine der Spalten in vertikaler (mithin die andere in horizontaler) Lage sich befindet und den Hintergrund der Spalten das Himmelsgewölbe bildet. Auf einem horizontal gestellten Tische, der diesem Fenster in der weitesten Entfernung, welche nach der Größe des betreffenden Zimmers möglich ist, gegenüber steht, verzeichnet man ein zweites, rechtwinkliches Kreuz, so daß ein Arm desselben mit dem vertikalen Theile des Kreuzes am Fenster in derselben Vertikalebene liegt, und geht beim Versuche immer darauf aus, das Bild des Kreuzes am Fenster mit dem Kreuze am Tische zu genauer Coincidenz zu bringen.

3. Der Spiegelsextant. Dieses Instrument ist bestimmt, den Winkel, welchen die vom Auge nach zwei entfernten Punkten gehenden geraden Linien in jeder Richtung gegen den Horizont einschließen, zu messen und selbst dann, wenn der Beobachter keinen festen Stand hat. Außerordentlich schwierig durch andere Mittel ist eine solche Messung in dem letzteren Falle, wenn der Beobachter z. B. auf einem schwankenden Schiffe sich befindet. Mit einem gewöhnlichen Winkelmesser kann man nämlich immer nur einen Visirpunkt nach dem andern beobachten; es bedarf daher hiezu eines festen Standpunktes, damit das Instrument in der Zeit zwischen den beiden Visirungen unverrückt bleibt, weil sonst das Winkelmaß unrichtig ausfällt. Von einem schwankenden Standpunkte aus wird eine richtige Winkelmessung nur möglich, wenn man gleichzeitig nach den

beiden betreffenden Punkten visiren kann und dies gestattet der Spiegelsextant, der auch in den Fällen anwendbar ist, wo zur Aufstellung eines andern Winkelmeßinstrumentes der Platz fehlt, wie z. B. wo man die zwei Visirpunkte oder auch nur einen derselben blos dann sehen kann, wenn man den Kopf weit vor ein Fenster eines höheren Stockwerkes hinaushält u. s. w. In der einfachsten Gestalt hat dieses Instrument folgende durch Fig. 542 anschaulich gemachte Einrichtung. **ABC** ist ein Kreissektor, an welchem der Bogen **AB** gewöhnlich nur etwas mehr als 1/6 eines ganzen Kreises beträgt, woher auch der Name Sextant kömmt. Um den Mittelpunkt **C** des Sektor-Kreises (des Kreises, wovon **AB** ein Bogen ist) dreht sich eine Alhidade **DE**, welche einen ebenen Spiegel **F** trägt, der durch den Mittelpunkt **C** geht und auf der Ebene des Sektors senkrecht steht, (in der Figur ist nur seine Rückseite sichtbar). Ein anderer ebener Spiegel **G** ist ebenfalls senkrecht auf der Ebene des Kreises und so befestigt, daß er mit dem Spiegel **F** dann parallel ist, wenn die Alhidade auf dem Nullpunkte der Theilung des Bogens **AB** steht. Der Spiegel **G** ist in der oberen Hälfte durchbrochen, so daß man den einen der beiden Visirpunkte unmittelbar durch den durchbrochenen Spiegeltheil sehen kann. Dem Spiegel **G** gegenüber ist am Gestelltheile **AC** eine Messingplatte **M** festgeschraubt, die in der Mitte eine kleine Oeffnung **o** hat, hinter welche man das Auge hält, um nach dem Spiegel **G** hin zu sehen. (An der Stelle der Platte **M** befindet sich bei vollkommener eingerichteten Instrumenten ein dem Spiegel **G** zugekehrtes Fernrohr mit Fadenkreuz.) Soll nun mit dem Instrumente eine Winkelmessung vorgenommen werden, so nimmt man es bei dem Handgriff **H** so in die Hand, daß das Auge durch die kleine Oeffnung **o** und durch die obere durchbrochene Hälfte des Spiegels **G** denjenigen der beiden Visirpunkte sieht, welcher gegen das beobachtende Auge mehr links liegt. Dann wird, nachdem man die Ebene des Sextanten in die Ebene gebracht hat, in welcher die beiden Visirpunkte liegen, die Alhidade so lange um den Mittelpunkt **C** gedreht, bis das hinter der Platte **M** befindliche Auge zugleich mit dem eben erwähnten linken Visirpunkte auch den zweiten rechts gelegenen Visirpunkt sieht. (Während den ersteren das durch den durchbrochenen Theil des Spiegels **G** direkt ins Auge gelangende Licht sichtbar macht, wird letzterer durch die von ihm auf den Spiegel **F** gelangenden Strahlen gesehen, indem diese von **F** durch Reflexion der untern Hälfte des Spiegels **G** zugesendet und von hier ins Auge des Beobachters reflectirt werden. Während der Drehung der Alhidade muß, wenn das Instrument ein Fernrohr enthält, das über dem spiegelnden Theile **G** unmittelbar (ohne Reflexion) gesehene Bild des linken Visirpunktes immer in der Mitte des Fernrohres erhalten werden). Wenn sich die Bilder beider Visirpunkte genau decken, so ist der Winkel, welchen beide Spiegel mit einander machen, d. h. der Theil des Gradbogens, um welchen sich die Alhidade vom Nullpunkte der Theilung an fortbewegt hat, gleich der Hälfte des (gesuchten) Winkels, welchen beide Visirpunkte in dem Auge des Beobachters bilden. . . . (†)

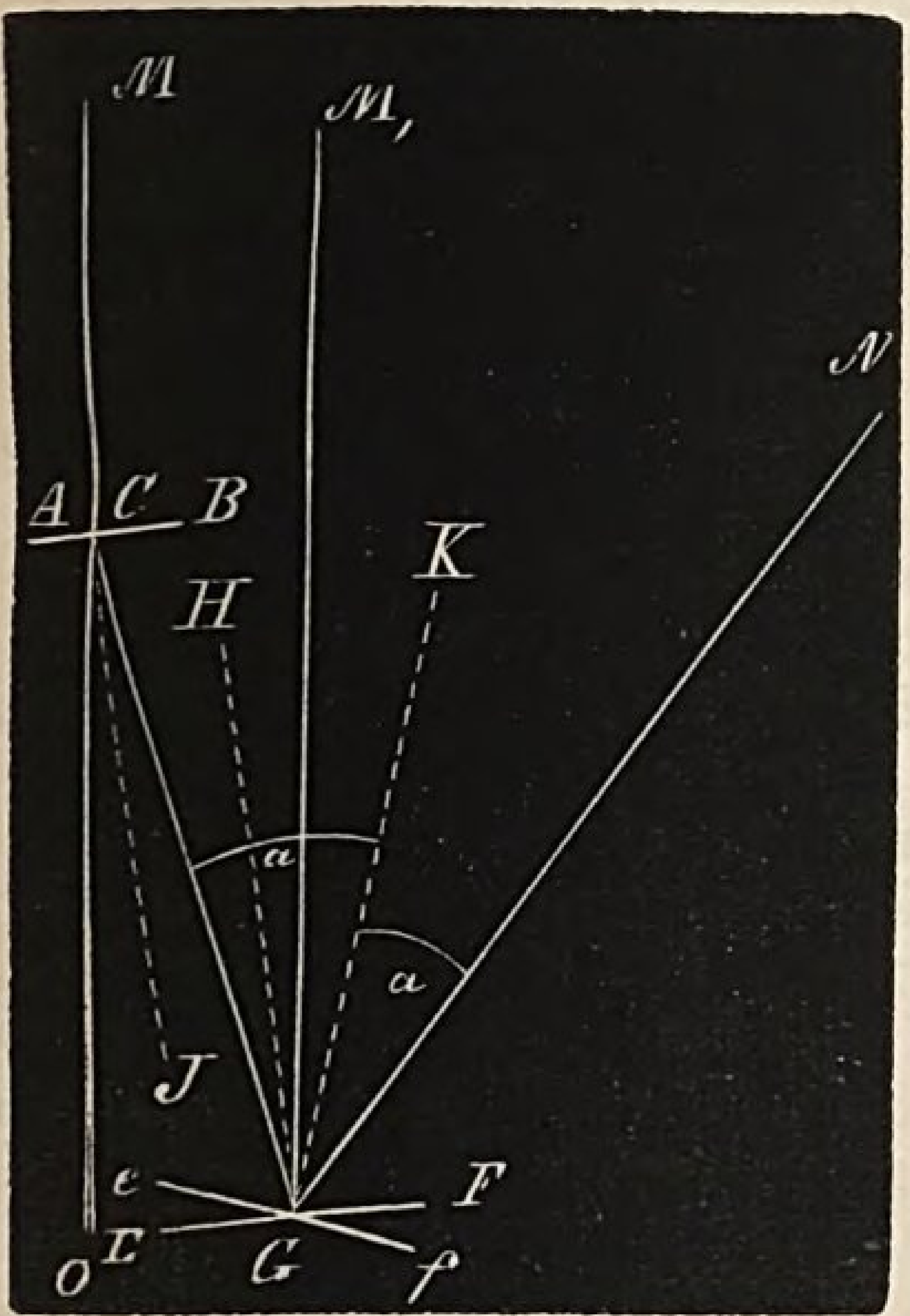
Fig. 542.



Die Richtigkeit des eben ausgesprochenen Satzes ergibt sich aus Folgendem. Es stelle in Figur 543 **ACB** den in der obern Hälfte durchbrochenen Spiegel und **EGF** den mit der

Alhidade drehbaren Spiegel in der Stellung vor, wo er mit ACB parallel, mithin die Alhidade auf den Nullpunkt der Theilung eingestellt ist. M, N seien die beiden Visirpunkte und o die Oeffnung in der oben erwähnten Messingplatte, hinter welcher sich das Auge befindet. Nun leuchtet ein, daß das Auge, während es durch die obere, durchbrochene Hälfte des Spiegels ACB den Visirpunkt M direkt sieht, auch zugleich das Bild dieses (immer weit entfernten) Punktes in dem untern spiegelnden Theile von ACB sehen müsse. Denn ist M nur einige tausend Fuße entfernt, so wird man, bei der Kleinheit und gegenseitigen Lage der beiden Spiegel, die von M herkommenden Lichtstrahlen MO und M_1G (wovon ersterer die durchbrochene Hälfte von ACB passirt, hingegen letzterer an den Spiegel EGF trifft) als parallel betrachten können. Ist GC die Richtung, nach welcher der Strahl M_1G von EF zurück und auf den Spiegel AB geworfen wird, und errichtet man die Einfallslothe GH und CJ; so ist $M_1GH = HGC$ . . . (1). Wegen Parallelismus dieser Lothe und der Linien MO und M_1G hat man auch $M_1GH = OCJ$, daher mit Bezug auf (1) $OCJ = HGC$, und hiernach, weil $HGC = GCJ$ ist (Wechselwinkel), folgt $OCJ = GCJ$. Nun stellt aber GCJ den Winkel vor, unter welchem der Strahl M_1G nach seiner Zurückwerfung von EF auf den Spiegel AB einfällt, folglich muß die Reflexion dieses Strahles von letzterem Spiegel nach der Richtung CO geschehen, derselbe also nach der erfahrenen zweimaligen Reflexion zugleich mit dem direkten Strahle MO ins Auge gelangen, so daß dieses den Visirpunkt M doppelt sieht. Bei genauer Einstellung der Alhidade auf den Nullpunkt der Theilung decken sich die beiden Bilder vollkommen.

Fig. 543.



Wird hierauf der Spiegel EF gedreht, so ändert auch das Einfallsloth GH seine Lage und zwar genau um eben so viele Grade, als die Drehung des Spiegels beträgt. Während dieser Drehung sieht das Auge zwar immerfort den Punkt M durch die obere durchbrochene Hälfte des Spiegels AB, aber das Bild dieses Punktes in der untern, spiegelnden Hälfte von AB ist verschwunden, und es gehen darin an dem Auge Bilder anderer Objekte vorüber, bis endlich das Bild des zweiten Visirpunktes N erscheint. Gesetzt, man habe bis zu diesem Erscheinen den Spiegel in die Stellung ef um den Winkel eGE gedreht, mithin auch die Alhidade um eben so viele Grade vom Theilungs-Nullpunkte verrückt; so hat auch das Einfallsloth HG seine Lage um einen gleichen Winkel HGK geändert. Bezeichnet a den Winkel, welchen der von G nach C reflektirte Strahl mit dem Einfallslothe GK macht, so ist a auch der Winkel, den der einfallende Strahl NG mit diesem Lothe bildet, und man hat $M_1GN = 2a - 2M_1GH$ (denn $M_1GH = HGC$), folglich $\frac{M_1GN}{2} = a - M_1GH$. Nun ist M_1GN der Winkel der nach M und N gerichteten Visirlinien, um dessen Maß es sich handelt, und $a - M_1GH$ ist der Winkel, um welchen das Einfallsloth HG seine Lage verändert hat, also auch der Spiegel gedreht worden: mithin ist der oben unter (+) aufgestellte Satz erwiesen. Da der Bogen des Sextanten eine solche Theilung hat, daß jeder halbe Grad als ganzer Grad beziffert ist, so gibt das bei stattfindender Deckung beider Bilder abgelesene Bogenstück unmittelbar den gesuchten Winkel.

4. Der künstliche Horizont. Will man mittelst des Sextanten die Höhe eines Gegenstandes, z. B. der Sonne, messen, so beobachtet man ihr Bild in einer ruhigen Wasser- oder Quecksilberoberfläche und nennt diese dann einen künstlichen Horizont. Dieses Bild gibt den zweiten Visirgegenstand ab, und man erhält, da das Bild eben so weit hinter der spiegelnden Fläche als der Gegenstand vor derselben liegt, bei der Messung die doppelte Höhe des Gegenstandes (eigentlich eines gewissen, als Visirpunkt gewählten Punktes desselben).

5. Das Zauberperspektiv (Fig. 544) ist eine, gewöhnlich vierkantige, zweimal rechtwinklig aufwärts gebogene Röhre **ABCD**, worin sich vier gegen die Linie ab unter Winkeln von 45° geneigte Planspiegeln 1, 2, 3, 4 befinden. Die

Fig. 544.

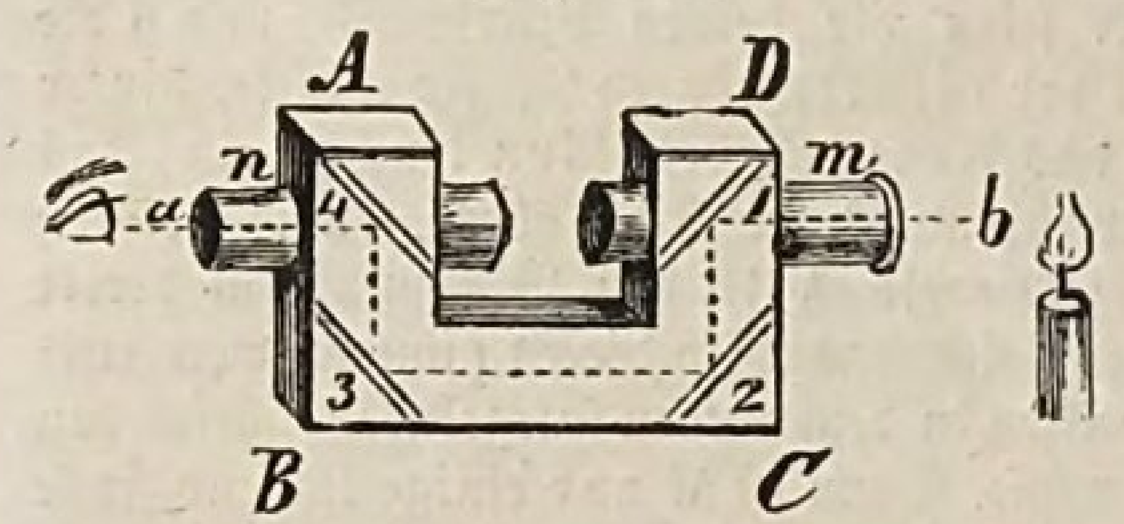
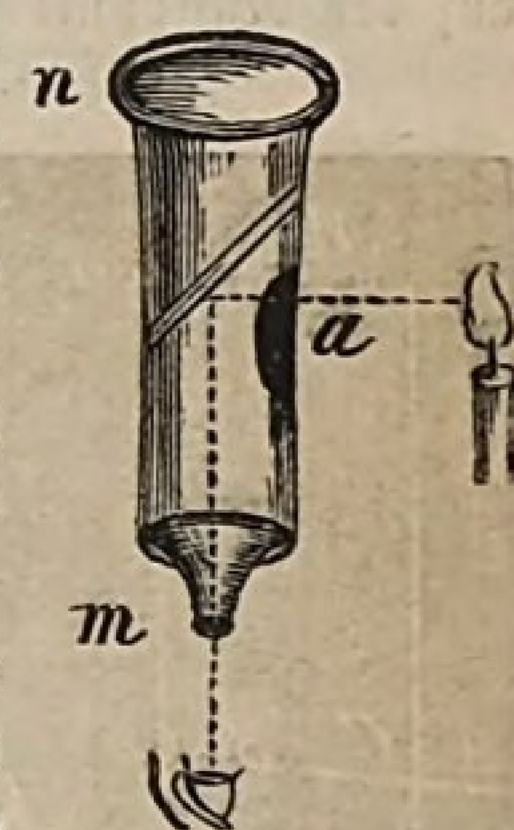


Fig. 545.



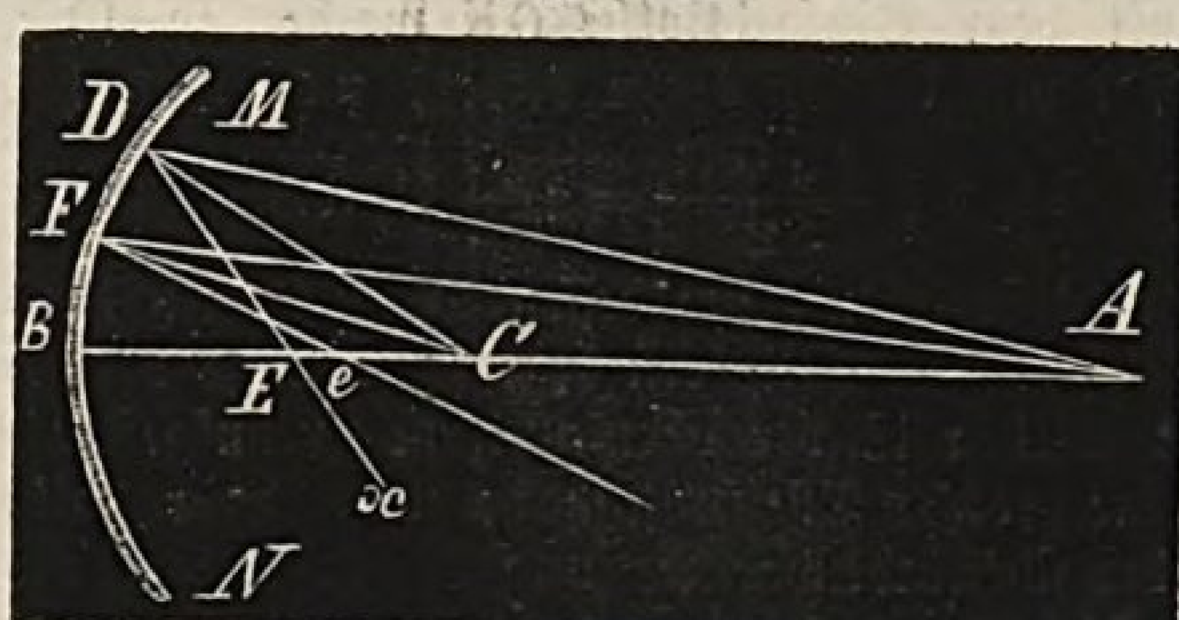
punktirte Linie bezeichnet den Weg, auf welchem durch m eintretende Lichtstrahlen zu Folge viermaliger Reflexion ins Auge gelangen, wenn auch zwischen die inneren Enden der Röhren m, n die Hand, ein Bret oder ein anderer noch so undurchsichtiger Gegenstand gebracht wird.

6. Der Operngucker, in der äußeren Form einem Theaterperspektive gleichend (Fig. 545), zeigt die nach der Seite des Rohres m n hin befindlichen Gegenstände, indem die von demselben ausgehenden Lichtstrahlen durch einen Ausschnitt a auf einen kleinen, ebenen, gegen die Axe von m n unter 45° geneigten Spiegel fallen und von diesem dem Auge zugesendet werden.

291. Reflexion an gekrümmten Spiegeln. Unter den Spiegeln mit gekrümmter Oberfläche sind der sphärische und der parabolische Hohlspiegel, dann der sphärische Convexspiegel die wichtigsten. Jeder Abschnitt einer Hohlkugel ist ein sphärischer Hohlspiegel, wenn seine innere Fläche, und ein sphärischer Convexspiegel, wenn seine äußere Fläche spiegelnd (gut polirt) ist. Einen parabolischen Hohlspiegel bildet jede hohle spiegelnde Fläche, die durch Umdrehung einer Parabel um ihre Hauptaxe entstanden gedacht werden kann.

292. Sphärische Hohlspiegel. Es sei **M N** (Fig. 546) der Durchschnitt eines sphärischen Hohlspiegels nach einer durch den Mittelpunkt **C** seiner Krümmung (d. i. durch den Mittelpunkt der Kugel, von welcher der Spiegel ein Abschnitt ist) geführten Ebene, und **B C** sei eine durch **C** und die Mitte der Spiegelfläche gehende Gerade, welche die Axe des Hohlspiegels vorstellt. Es befinde sich ferner vor dem Spiegel, in seiner Axe und weiter als der Mittelpunkt **C** entfernt, ein leuchtender Punkt **A**. Von allen Strahlen, welche dieser dem Spiegel zusendet, betrachten wir vorläufig nur jenen, der durch den Krümmungsmittelpunkt **C** nach **B** gelangt und einen zweiten an **C** vorbeigehenden, den Spiegel in **D** treffenden Strahl **A D**. Offenbar sind (**289**) die Halbmesser **C B** und **C D** die Einfallslothe der beiden Strahlen **A B** und **A D**, da sie auf den tangirenden Ebenen zu **B** und **D** senkrecht stehen.

Fig. 546.



Da der Strahl **A B** mit seinem Einfallslothe den Winkel Null macht, so ist auch sein Reflexionswinkel Null; er wird also längs derselben Linie, nach welcher er auf den Spiegel auffiel, nämlich von **B** nach **A**, zurückgeworfen und heißt deswegen der Hauptstrahl des Punktes **A**. Der Strahl **A D**, dessen Einfallsebene **A D C** mit der Ebene **A M N** zusammenfällt, wird in letzterer Ebene reflektirt und zwar nach der Linie **D x**, vorausgesetzt, daß der Winkel **x D C = A D C** ist. Es sei **E** der Durchschnittspunkt der Linien **D x** und **A B**. Denkt man sich die vorhandene Figur um die Gerade **A B** als Axe gedreht, so nimmt **A D** nach und nach die Lage aller Strahlen an, welche der leuchtende Punkt dem Spiegel unter der gleichen Neigung gegen **A B** zusendet, wie sie der Strahl **A D** hat, und da hierbei der Punkt **E** unbeweglich bleibt, so kreuzen sich alle diese in der Oberfläche eines Kegels gelegenen Strahlen nach ihrer Reflexion vom Spiegel im Punkte **E**, gehen von diesem Punkte dann eben so weiter, als wäre derselbe ein leuchtender Punkt, und es erscheint einem Auge, welches einige der reflektirten Strahlen nach ihrer Kreuzung in **E**

empfängt, gerade so, als ob in diesem Punkte der leuchtende Punkt **A** selbst sich befände; es sieht daselbst ein Bild dieses Punktes **A**.

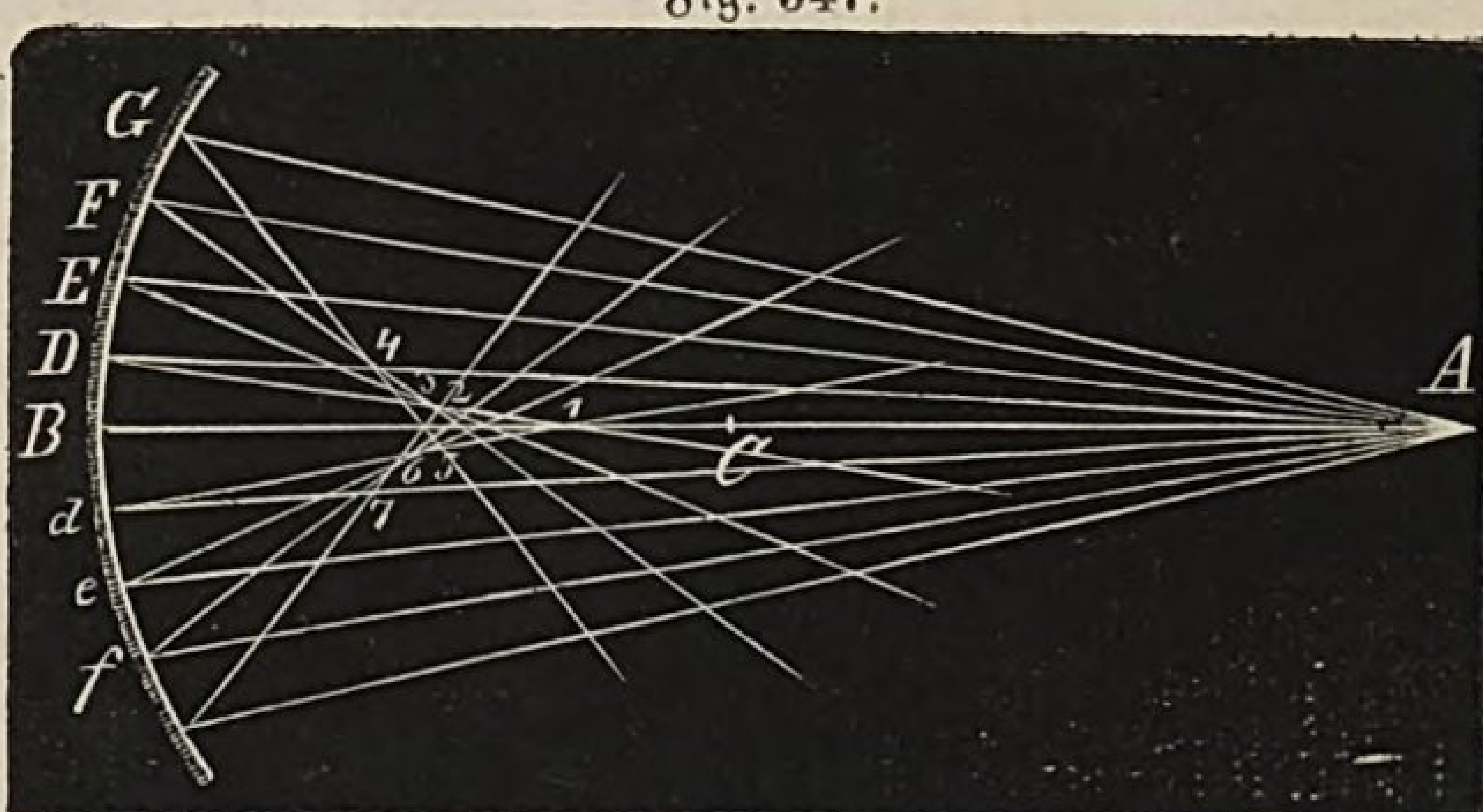
Zur näheren Kenntniß der Lage dieses Bildes insbesondere gegen den Spiegel, führt die Betrachtung des Dreieckes **AED**, in welchem wegen der Halbirung des Winkels **ADE** (da **ADC** und **CDE** als Einfalls- und Reflexionswinkel gleich sind) die Proportion $AD : DE = AC : CE$ stattfindet. Es möge kürzehalber der Abstand **AB** des leuchtenden Punktes vom Spiegel mit a, der Abstand **BE** des Bildes (die Bildweite) vom Spiegel mit α, und der Krümmungshalbmesser des letzteren mit r bezeichnet werden. Offenbar wird der Längenunterschied zwischen **AB** und **AD**, so wie zwischen **EB** und **ED** immer kleiner, je mehr der Winkel **DAB** abnimmt, d. h. je näher an der Axe **AB** die Strahlen des oben besagten Lichtkegels den Spiegel treffen; man kann daher für sehr kleine Werthe dieses Winkels $AD = AB = a$, ferner $ED = EB = \alpha$ setzen, und es geht dann die vorstehende Proportion in $a : \alpha = a - r : r - \alpha$ über, woraus $a(r-\alpha) = \alpha(a-r)$, ferner $ar - a\alpha = a\alpha - \alpha r$, oder $ar = 2a\alpha - \alpha r = \alpha(2a-r)$ und endlich die Bildweite $\alpha = \frac{ar}{2a-r}$ folgt. . . . . (151)

Dieser Werth der Bildweite gilt dem Vorhergehenden gemäß nur für die von **A** ausgehenden Strahlen, welche mit **AB** sehr kleine Winkel bilden, aber zugleich für alle von **A** ausgehenden Lichtkegel, die **AB** zur Axe haben und deren auf den Spiegel fallende Grundflächen sehr klein sind. Jedoch auch solche mit **AB** zwar äußerst kleine, aber verschiedene Winkel bildende Strahlen des leuchtenden Punktes **A** kreuzen sich nach der Reflexion nicht genau in einem einzigen Punkte, sondern in mehreren, jedoch sehr nahe an einander liegenden Punkten; es entstehen daher mehrere Bilder von **A**, die aber ebenfalls sehr nahe an einander fallen und gleichsam so zusammenfließen, daß das Auge sie nicht unterscheidet und immer nur ein Bild von, wenn auch nicht vollkommener, doch hinreichender Deutlichkeit sieht, wenn es nur von diesen Kreuzungspunkten kommende Strahlen empfängt. Zum Beweis, daß gegen den Hauptstrahl **AB** verschieden geneigte Strahlen sich nach der Reflexion in mehreren Punkten durchkreuzen, denke man sich von dem leuchtenden Punkte **A** (der vorigen Figur) nebst dem Strahle **AD** und in dessen Einfallsebene noch einen zweiten, mehr oder weniger als **AD** gegen **AB** geneigten Strahl z. B. **AF** auf den Spiegel gelangend, so wird dieser nach der Reflexion den Hauptstrahl **AB** in einem näher an **C** gelegenen Punkt **e** schneiden, als der Strahl **AD**. Denn aus dem nämlichen Grunde, aus welchem die obige Proportion $AD : DE = AC : CE$ stattfindet, ist auch $AF : Fe = AC : Ce$, man hat also $AD = AC \cdot \frac{DE}{CE}$ und $AF = AC \cdot \frac{Fe}{Ce}$. Es ist aber $AF > AD$, folglich muß auch $\frac{Fe}{Ce} > \frac{DE}{CE}$ . . . (2) sein. Dieser Bedingung gemäß kann e nicht mit **E** zusammen und auch nicht zwischen **E** und **B** fallen, weil dann $Fe < DE$ und im zweiten Falle auch zugleich $Ce > CE$ wäre, was mit dem Ausdrucke (2) im Widerspruche steht: denn durch Vergrößerung des Nenners, oder durch Vergrößerung des Nenners und gleichzeitige Verkleinerung des Zählers eines und desselben Bruches $\left(\frac{Fe}{Ce}\right)$ wird dessen Werth nothwendig immer kleiner. Demnach erzeugt jeder der unzähligen, den leuchtenden Punkt **A** zur Spitze und die Linie **AB** zur Axe habenden Lichtkegel, welche auf dem Spiegel eintreffen und deren jeder aus Strahlen von einerlei Neigung gegen die Axe gebildet ist, ein eigenes Bild des Punktes **A**, und zwar in desto größerer Entfernung vom Spiegel, je kleiner die eben besagte Neigung der ihn bildenden Strahlen gegen seine Axe ist. Hierin liegt der Grund, warum

ein sphärischer Hohlspiegel nie ein vollkommen deutliches Bild eines leuchtenden Punktes gibt. Obwohl also bei einem solchen Spiegel keine völlige Vereinigung aller von einem leuchtenden Punkte auf ihn gelangenden und reflektirten Strahlen wieder in einem einzigen Punkte stattfindet; so ist doch, wie wir schon oben gehört haben, die Abweichung von dieser Vereinigung, Abweichung wegen der Kugelgestalt des Spiegels genannt, für Strahlen, die auf das die Axe zunächst umgebende Stück der hohlen Spiegelfläche fallen, so gering, daß sie der Reinheit des Bildes weniger schadet und bei den meisten Anwendungen der Hohlspiegel unbeachtet bleiben kann. Man darf aber dort, wo es sich um möglichst reine Bilder handelt, nur eine geringe Oeffnung des Hohlspiegels anwenden, d. h. nur eine kleine Fläche des Spiegels, zunächst um seine Axe herum, den vom leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen darbieten.

Denkt man sich auf den Hohlspiegel (Fig. 547) von einem außer dessen Krümmungscentrum gelegenen leuchtenden Punkte A, nebst dem Hauptstrahle AB und mit diesem in einer Ebene, eine stätige Folge von Strahlen AD, AE, AF ... Ad, Ae, Af ... auffallend; so werden je zwei unmittelbar neben einander liegende reflektirte Strahlen in einem Punkte und je zwei andere einander nahe Strahlen in einem andern Punkte (die Strahlen AB und AD im Punkte 1, AD und AE in 2, AE und AF in 3, AF und AG in 4, AB und Ad in 1, Ad und Ae in 5 u. s. w.) sich durchkreuzen, so daß sich eine ganze Reihe solcher Durchschnittspunkte ergibt, durch deren Vereinigung eine alle reflektirten Strahlen tangirende krumme Linie entsteht, welche die Brennlinie oder kaustische Linie des Punktes A heißt. Es gibt natürlich so viele solche Brennlinien, als sich Ebenen durch AB legen lassen, und alle diese Brennlinien zusammen bilden die sogenannte Brennfläche oder kaustische Fläche, welche dargestellt wird, wenn man sich um AB als Axe die Brennlinie rotiren gemacht denkt. Es ist leicht begreiflich, daß da, wo mehrere auf einander folgende Lichtstrahlen sich schneiden, also mehr reflektirtes Licht vereinigt wird, auch ein hellerer Punkt sichtbar sein müsse, und deswegen erscheinen die Brennlinien, wenn man sie durch direktes Sonnen- oder anderes starkes Licht hervorbringt, als auffallend glänzende Linien.

Fig. 547.



293. Lage des Bildes eines leuchtenden Punktes gegen den Hohlspiegel. Sie ergibt sich für alle möglichen Stellungen dieses Punktes gegen den Spiegel aus der vorn unter (151) abgeleiteten Formel $\alpha = \frac{ar}{2a - r}$, (natürlich nur unter der auch dieser Formel zu Grunde liegenden Voraussetzung, daß das Bild blos von sehr nahe am Hauptstrahle den Spiegel treffenden und von demselben reflektirten Strahlen erzeugt werde, d. h. der Spiegel nur eine geringe Oeffnung habe), und zwar für alle möglichen Stellungen des leuchtenden Punktes gegen die spiegelnde Fläche auf folgende Weise.

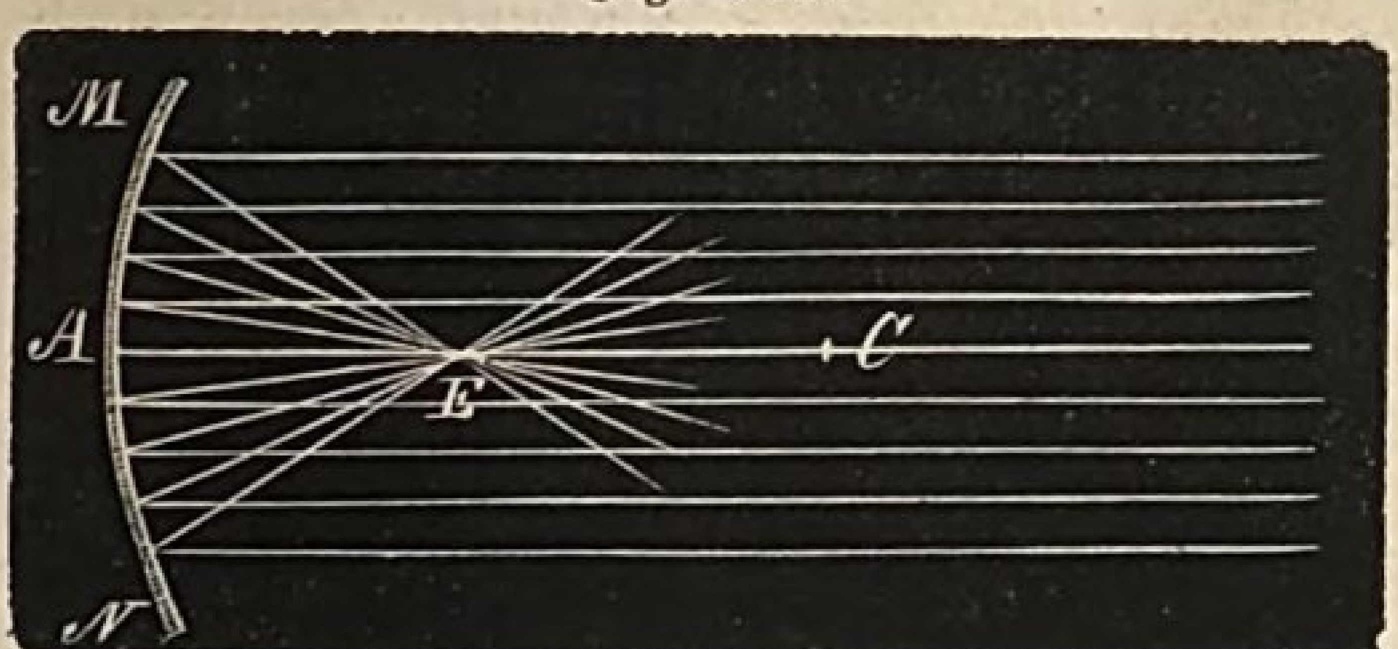
Um die Abhängigkeit der Bildweite α von der Entfernung a des leuchtenden Punktes gegen den Spiegel gehörig ermitteln zu können, ist es nöthig, der oben angeführten Formel $\alpha = \frac{ar}{2a - r}$ zuerst eine andere Gestalt zu geben; es folgt aus ihr nämlich $\frac{1}{\alpha} = \frac{2a - r}{ar}$ oder $\frac{1}{\alpha} = \frac{2}{r} - \frac{1}{a}$. Setzt man, um die weiteren Betrach-

tungen zu vereinfachen, den halben Spiegelhalbmesser $\frac{r}{2} = p$, also $r = 2p \ldots (\dagger)$; so erhält man den Ausdruck $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$ . . . . (152), aus welchem die vorbesagte Abhängigkeit sich in nachstehender Art ergibt.

Vorläufig soll nur noch bemerkt werden, daß in den nächsten Figuren 549 bis 551, die zur Versinnlichung der Folgerungen dienen, welche aus dem Ausdrucke (152) sich ergeben werden, immer **M** (oder **MN**) den Hohlspiegel, **C** seinen Krümmungsmittelpunkt, **L** den leuchtenden Punkt, **A** den Einfallspunkt des Hauptstrahles und **E** das Bild des leuchtenden Punktes, d. i. den Punkt bedeutet, in welchem die vom Spiegel zurückgeworfenen Strahlen sich kreuzen und wo man das Bild des leuchtenden Punktes sieht, wenn einige dieser Strahlen nach der Kreuzung ins Auge kommen.

1. Ist $a = \infty$ d. h. der leuchtende Punkt vom Spiegel unendlich weit entfernt, so daß die auf letzteren gelangenden Strahlen als unter einander parallel angesehen werden können; so wird $\frac{1}{a} = 0$, hiernach $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p}$, mithin $\alpha = p$ oder, gemäß ($\dagger$), $\alpha = \frac{r}{2}$. Parallel auf den Spiegel auffallende Strahlen vereinigen sich daher nach der Reflexion in einem vom Spiegel um dessen halben Krümmungsradius abstehenden Punkte (**E** Fig. 548) des Hauptstrahles. Man nennt diesen Vereinigungspunkt der parallelen Strahlen den Brennpunkt (Focus) des Hohlspiegels und seinen Abstand (p) vom Spiegel die Brennweite (Focaldistanz) des letzteren.

Fig. 548.

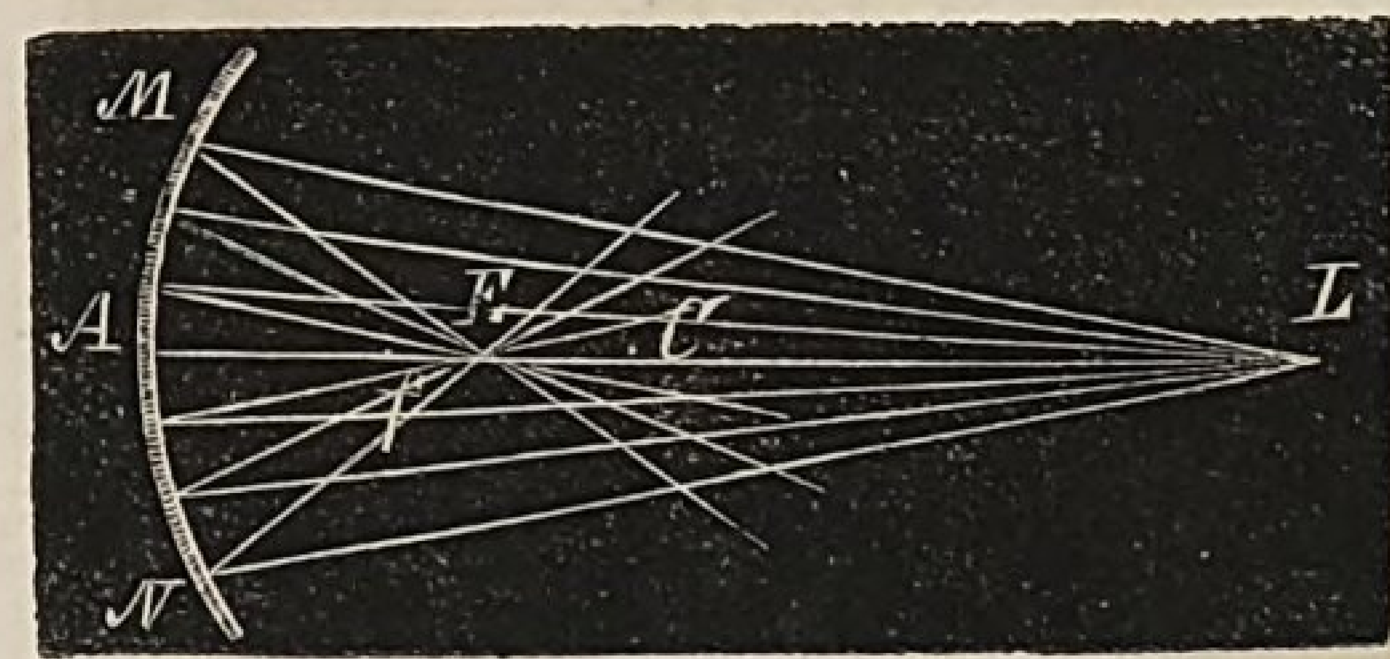


2. Hat **a** einen endlichen Werth, z. B. a_1, in welchem Falle die vom leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen nach divergenten Richtungen auf den Spiegel gelangen; so ist $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a_1}$ und hieraus folgt $\frac{1}{\alpha} = \frac{a_1 - p}{a_1 p}$, ferner $\alpha = \frac{a_1 p}{a_1 - p}$ oder $\alpha = p \cdot \frac{a_1}{a_1 - p}$ . . . . (153).

Dieser Ausdruck gibt nicht nur den Werth der Bildweite für jede endliche Entfernung (a_1) des leuchtenden Punktes, sondern aus demselben fließen für divergent auffallende Strahlen auch noch folgende Wahrheiten: **A**). So lange $a_1 > p$ d. h. der Abstand des leuchtenden Punktes größer als die Brennweite des Spiegels ist, oder mit andern Worten, so lange dieser Punkt sich außerhalb der Brennweite befindet, ist die Bildweite größer als die Brennweite; denn es muß diese (p) mit dem unächten Bruche $\frac{a_1}{a_1 - p}$ multiplizirt d. i. vergrößert werden, um der Bildweite (α) gleich zu kommen. — **B**). Je näher der leuchtende Punkt an den Krümmungsmittelpunkt des Spiegels rückt (je divergirender die Strahlen auf letzteren auffallen), desto größer wird die Bildweite im Verhältniß zur Brennweite, bleibt aber immer kleiner als der Krümmungshalbmesser, so lange der Abstand des leuchtenden Punktes größer als dieser Halbmesser d. h. so lange $a_1 > 2p$ ist. Je kleiner nämlich der endliche Werth a_1 dieses Abstandes ist, desto größer wird offenbar auch der Werth des Bruches

$\frac{a_1}{a_1 - p}$, mithin zu Folge der Formel (153) auch jener von α. Wie unter A). gezeigt wurde, ist für jeden endlichen Werth von $a_1 > p$ auch α größer als p. Es kann ferner, unter der Voraussetzung $a_1 > 2p$, nie $\alpha = 2p$ werden: denn sonst müßte, nach (153), $2p = p . \frac{a_1}{a_1 - p}$ oder $2 = \frac{a_1}{a_1 - p}$, folglich $2a_1 - 2p = a_1$ und endlich $a_1 = 2p$ sein, was gegen die Voraussetzung $a_1 > 2p$ streitet. Eben so wenig kann, bei der nämlichen Voraussetzung, $\alpha > 2p$ sein, weil aus α oder $p . \frac{a_1}{a_1 - p} > 2p$ nothwendig $\frac{a_1}{a_1 - p} > 2$, ferner $a_1 > 2a_1 - 2p$ und hieraus $2p > a_1$ folgen würde, was gleichfalls dieser Voraussetzung entgegen ist. Demnach ist in dem betrachteten Falle die Bildweite größer als die Brennweite, kann weder gleich noch größer als der Krümmungshalbmesser und muß daher kleiner als dieser sein (Fig. 549). — C). Ist $a_1 = 2p$ d. h. befindet sich der leuchtende Punkt im Krümmungsmittelpunkte, so ergibt sich aus (153) auch $\alpha = 2p$ d. h. das Bild fällt mit dem leuchtenden Punkte zusammen. — D). Ist zugleich $a_1 < 2p$ und $a_1 > p$ d. h. liegt der leuchtende Punkt zwischen dem Mittelpunkte der Krümmung und dem Brennpunkte des Spiegels; so folgt, nach einem ähnlichen Raisonnement wie unter B). nothwendig, daß α immer größer und zwar desto größer als 2p sei, je näher der leuchtende Punkt sich am Brennpunkte befindet. Es kann nämlich nicht $\alpha < 2p$ und auch nicht $\alpha = 2p$ sein; denn ersterer Annahme zu Folge wäre α oder $p . \frac{a_1}{a_1 - p} < 2p$, daher $\frac{a_1}{a_1 - p} < 2$, weiters $a_1 < 2a_1 - 2p$ und hiernach $2p < a_1$ . . . (1); die Annahme $\alpha = 2p$ führt nach der daraus folgenden Gleichung $2p = p . \frac{a_1}{a_1 - p}$ zum Resultate $a_1 = 2p$ . . . (2). Beide Ergebnisse (1) und (2) sind aber der gemachten einen Voraussetzung $a_1 < 2p$ entgegen . . . (3). Da ferner der Werth des Bruches $\frac{a_1}{a_1 - p}$ allmälig wächst, wenn a_1 immer mehr abnimmt . . . (4) und, der zweiten Voraussetzung $a_1 > p$ gemäß, dabei stets einen positiven Werth behält . . . (5); so ist die im Eingange dieses Absatzes D). aufgestellte Behauptung richtig, und es steht das Bild eines zwischen dem Mittelpunkte der Krümmung und dem Brennpunkte befindlichen leuchtenden Punktes immer weiter ab vom Spiegel als dieser Mittelpunkt (3) und zwar desto weiter, je näher der leuchtende Punkt dem Brennpunkte ist (4); endlich liegt, gemäß (5), das Bild, wie in allen vorher betrachteten Fällen, stets vor dem Spiegel. — E). Für $a_1 = p$ folgt aus Gleichung (153) $\alpha = \infty$ d. h. Strahlen, die von einem im Brennpunkte des Spiegels vorhandenen leuchtenden Punkte ausgehen, treffen nach der Reflexion mit dem Hauptstrahle erst in unendlich großer Entfernung vom Spiegel zusammen d. i. werden dem Hauptstrahle parallel zurückgeworfen; es gibt daher in diesem Falle kein Bild des leuchtenden Punktes (Fig. 550). (Leichteren Ueberblickes wegen sind in dieser und in den nächstfolgenden Figuren die Richtungen der reflektirten Strahlen punktirt angedeutet.) — F). Ist $a_1 < p$ d. h. der Abstand des leuchtenden Punktes vom Spiegel kleiner als die Brennweite, so gibt die Gleichung

Fig. 549.



$\alpha = p \cdot \frac{a_1}{a_1 - p}$ für α den Werth $- a_1 \cdot \frac{p}{p - a_1}$. Die Bildweite ist demnach negativ, d. h. das Bild liegt nun hinter dem Spiegel in einem Punkte l, dessen Entfernung die Größe $a_1 \cdot \frac{p}{p - a_1}$ hat; die Strahlen müssen also so zurückgeworfen werden, als ob sie alle von dem besagten in der Richtung des Hauptstrahles gelegenen Punkte hinter dem Spiegel herkämen, wodurch dieser Punkt den Charakter eines Bildes des leuchtenden Punktes bekömmt (Fig. 551). Da mit der Abnahme von a_1 auch der Werth des Bruches $\frac{p}{p - a_1}$ abnimmt, so folgt, daß das Bild desto weniger weit hinter dem Spiegel erscheint, je näher innerhalb der Brennweite der leuchtende Punkt dem Spiegel ist. Uebrigens ist die Bildweite immer größer als der Abstand des leuchtenden Punktes vom Spiegel: denn, wie obiger Ausdruck $- a_1 \cdot \frac{p}{p - a_1}$ für α zeigt, wird dieser Abstand a_1 erst durch Multiplikation mit einem unechten Bruche $\frac{p}{p - a_1}$ dem α gleich, muß also an und für sich kleiner als α sein.

Fig. 550.

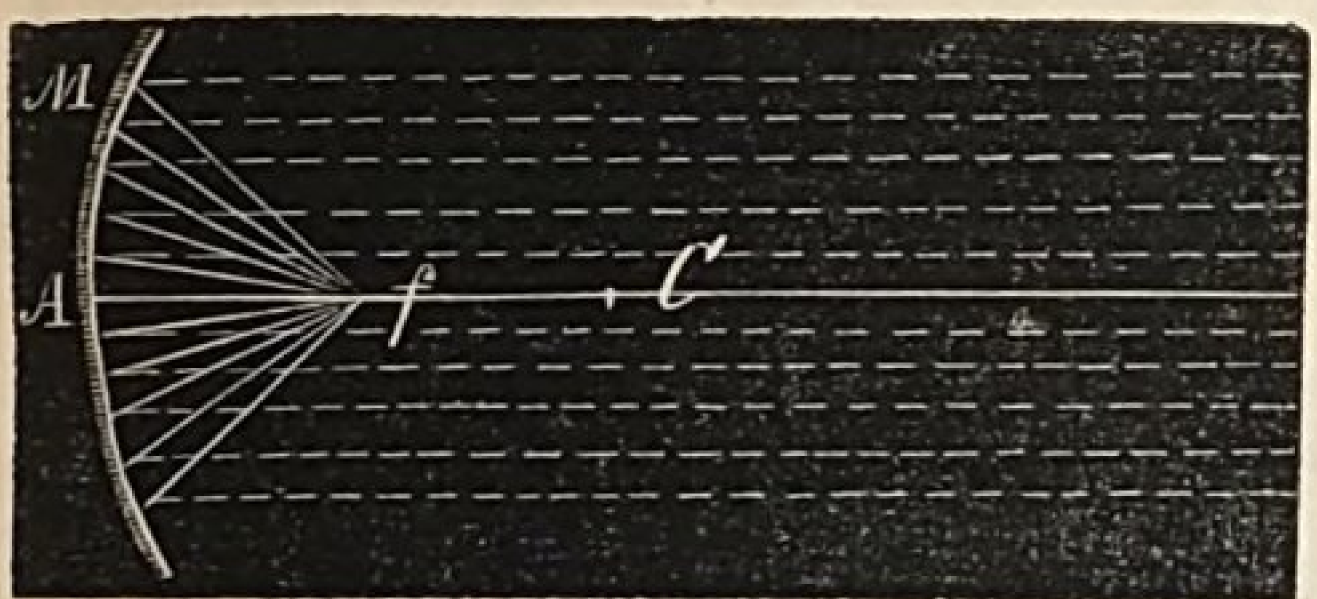
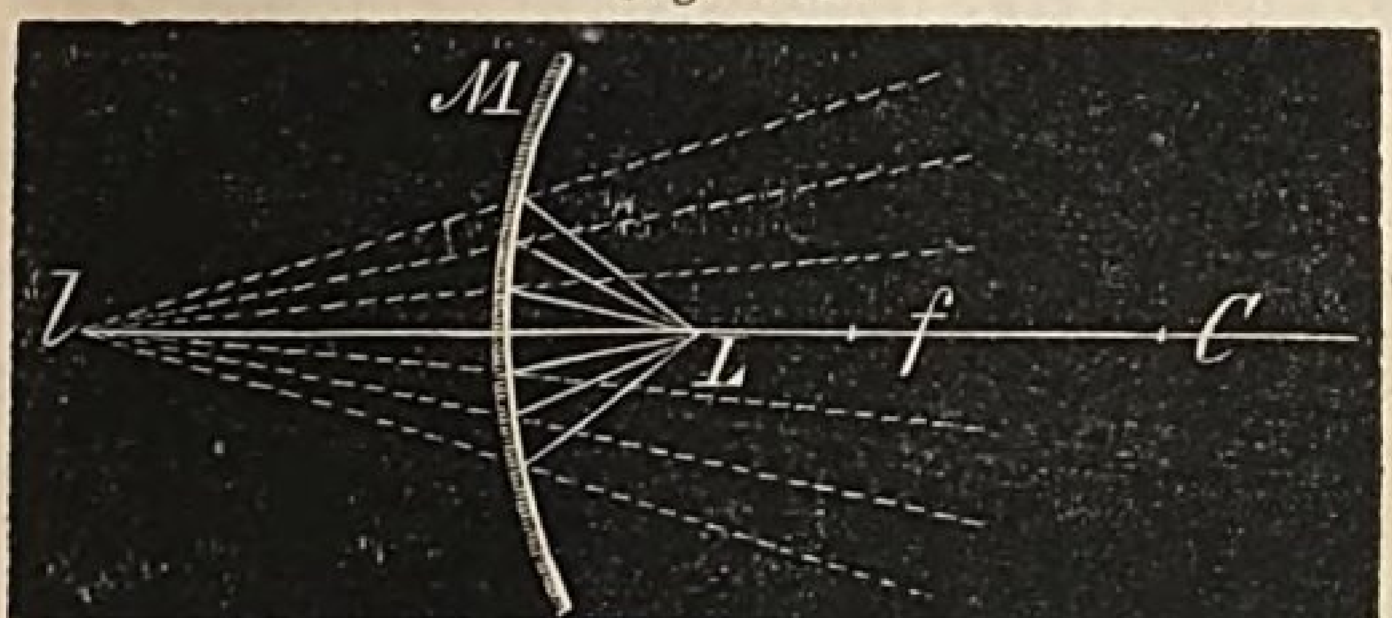
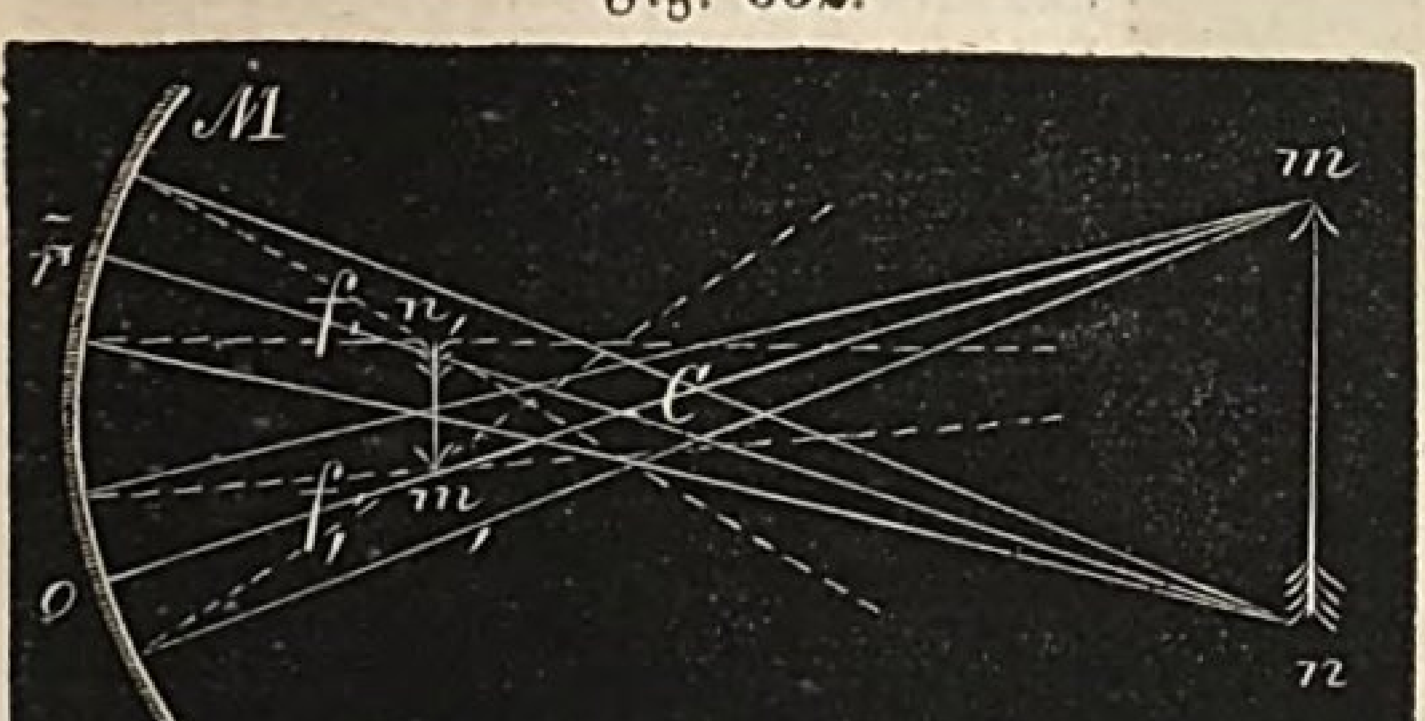


Fig. 551.



Da ein leuchtender Gegenstand ein Aggregat leuchtender Punkte ist, so ergibt sich durch Anwendung des Vorhergehenden auch leicht die Lage und zugleich die Größe des Bildes eines vor einem sphärischen Hohlspiegel befindlichen Gegenstandes. Es stelle in Figur 552 der Pfeil **m n** eine Dimension eines vor dem Spiegel **M** stehenden Gegenstandes und **C** den Krümmungsmittelpunkt des Spiegels vor; ferner befinde sich der Gegenstand in irgend einer endlichen Entfernung vor dem Spiegel, die größer ist als der Krümmungshalbmesser des letzteren. Zieht man für die Endpunkte **m** und **n** die Hauptstrahlen **m o** und **n r**, so werden alle nebst denselben von diesen Endpunkten divergent auf den Spiegel fallenden Strahlen durch Reflexion in den zwischen den Halbirungspunkten f_1, **f** der Radien **C o**, **C r** und dem Centrum **C** des Spiegels gelegenen Punkten m_1 und n_1 vereinigt, es entsteht in m_1 das Bild von m und in n_1 jenes von n, und man begreift weiter von selbst, daß die Bilder der zwischen den Endpunkten m, n des Gegenstandes enthaltenen Punkte zwischen den Bildern m_1, n_1 entstehen werden, also m_1 n_1 das Bild des Gegenstandes **m n** vorstelle. Dieses erscheint demnach vor dem Spiegel in der Luft (als Luftbild), verkehrt (in Bezug auf den Gegenstand), in einer, wenn der Halbmesser des Spiegels und der Abstand des Gegenstandes von diesem bekannt sind, leicht berechenbaren Entfernung, und die Bestimmung der Größe

Fig. 552.



des Bildes kann ohne merklichen Fehler nach der Proportion $mn : m_1 n_1 = mC . m_1 C$ geschehen. Denkt man sich den leuchtenden Gegenstand in so großer Entfernung vom Spiegel, daß alle von einem und demselben Punkte z. B. m dieses Gegenstandes auf den Spiegel gelangenden Strahlen unter einander parallel sind; so ist die Lage des Bildes von der in der Figur anschaulich gemachten nur dadurch verschieden, daß die Punkte m_1, n_1 und eben so alle andern Punkte desselben vom Spiegel gerade um dessen Brennweite abstehen. Aus obiger Proportion ergibt sich $m_1 n_1$, wenn vorher bestimmt worden: der Abstand des Punktes m vom Krümmungsmittelpunkte des Spiegels, welcher dem Abstande des Punktes m vom Spiegel weniger dem Halbmesser dieses letzteren gleich ist; (dieser Halbmesser wird gefunden, wenn man mißt, wie weit entfernt vom Spiegel das Bild der Sonne erscheint, und diese Entfernung doppelt nimmt; die Entfernung des Bildes m_1 vom Mittelpunkte des Spiegels, welche dem Halbmesser des letzteren, weniger der aus Formel (153) S. 625 berechenbaren Weite des Bildes m_1 vom Spiegel gleicht).

Wenn man die in Fig. 552 anschaulich gemachte Construktionsweise des Bildes eines leuchtenden Gegenstandes (als eines Aggregates leuchtender Punkte) und Alles, was früher über die Lage des Bildes eines leuchtenden Punktes bei den verschiedenen möglichen Stellungen des letzteren gegen den Spiegel aus der Formel (153) abgeleitet wurde, sich gegenwärtig hält, insbesondere nicht vergißt, daß der wirkliche oder scheinbare Durchkreuzungspunkt der reflektirten Strahlen, in welchem das Bild des leuchtenden Punktes erscheint, immer im Hauptstrahle dieses Punktes liegen müsse; so begreift man ohne weitere Erklärung die Figuren 553 und 554 (unter Beibehaltung der in Fig. 552 gewählten Bezeichnungen für Spiegel, dessen Mittelpunkt und Brennpunkt, für Bild und Gegenstand), wovon erstere den Fall versinnlicht, daß der Gegenstand zwischen dem Krümmungsmittelpunkte und dem Brennpunkte des Spiegels sich befindet und letztere den Fall anschaulich macht, wo der Gegenstand innerhalb der Brennweite (zwischen Brennpunkt und Spiegel) steht. Man sieht auch, daß das hinter dem Spiegel erscheinende Bild eines leuchtenden Gegenstandes immer größer als dieser und aufrecht sein müsse, während es vor dem Spiegel stets verkehrt erscheint und bald größer bald kleiner als der Gegenstand sein kann. Die Richtungen der reflektirten Strahlen sind auch hier so wie in den früheren Figuren punktirt dargestellt.

Fig. 553.

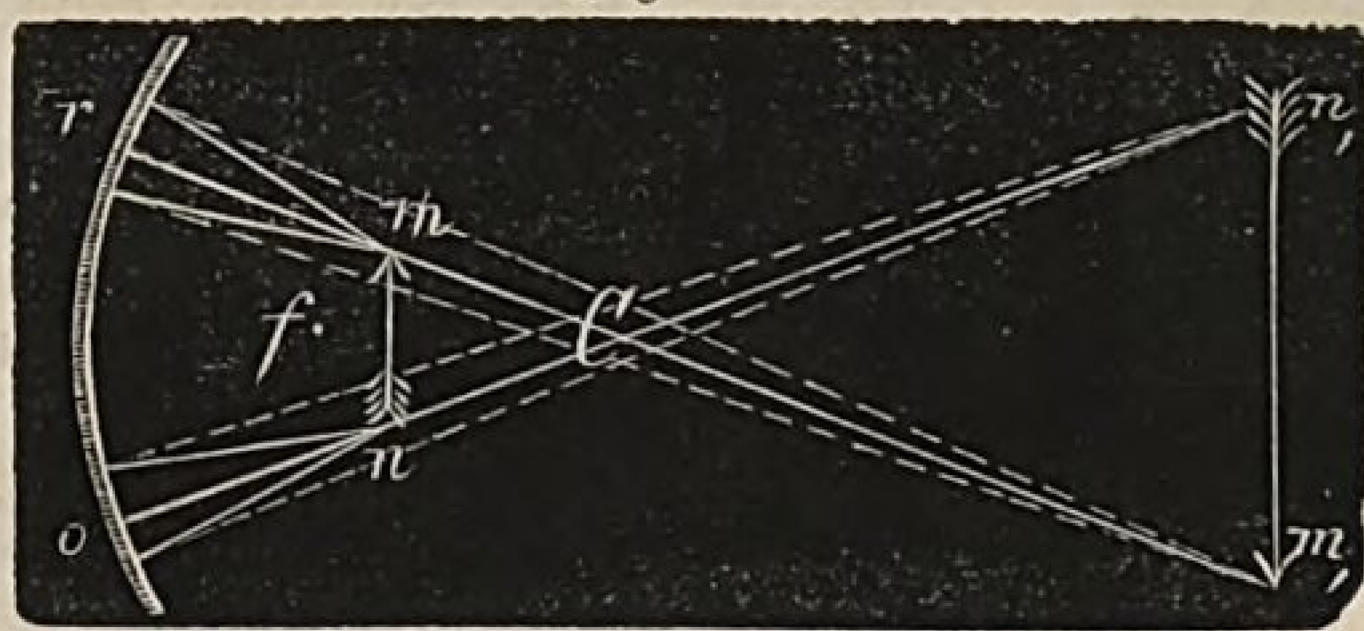
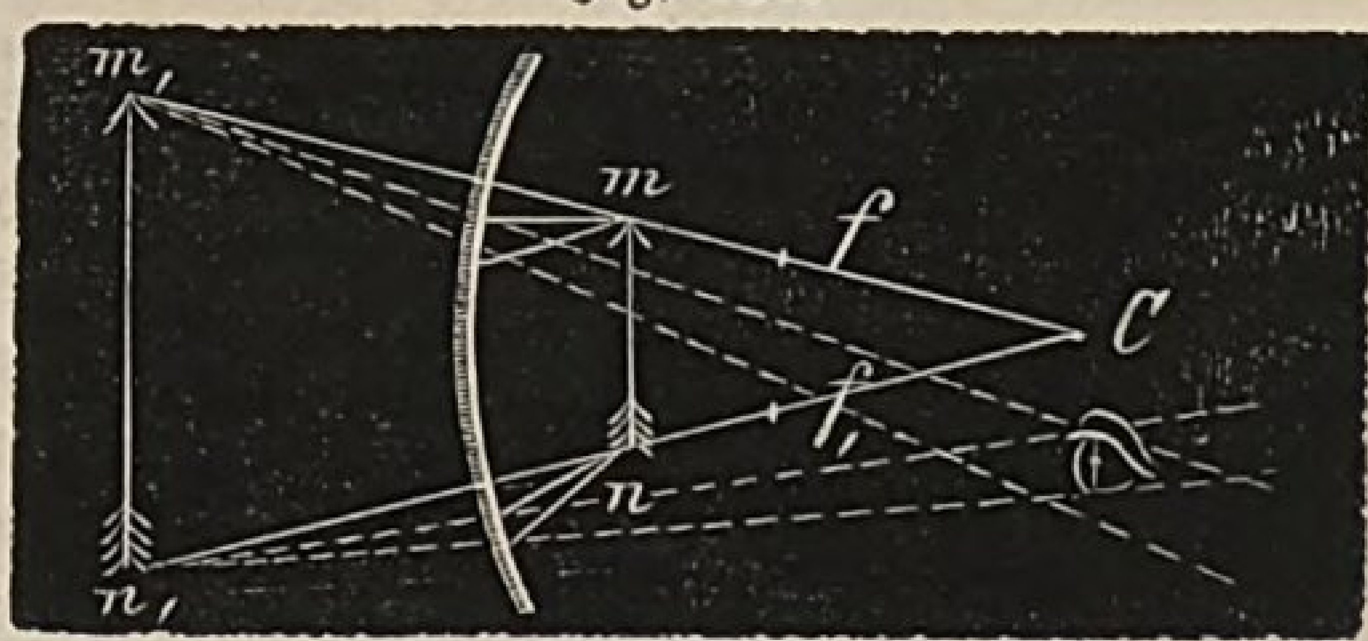
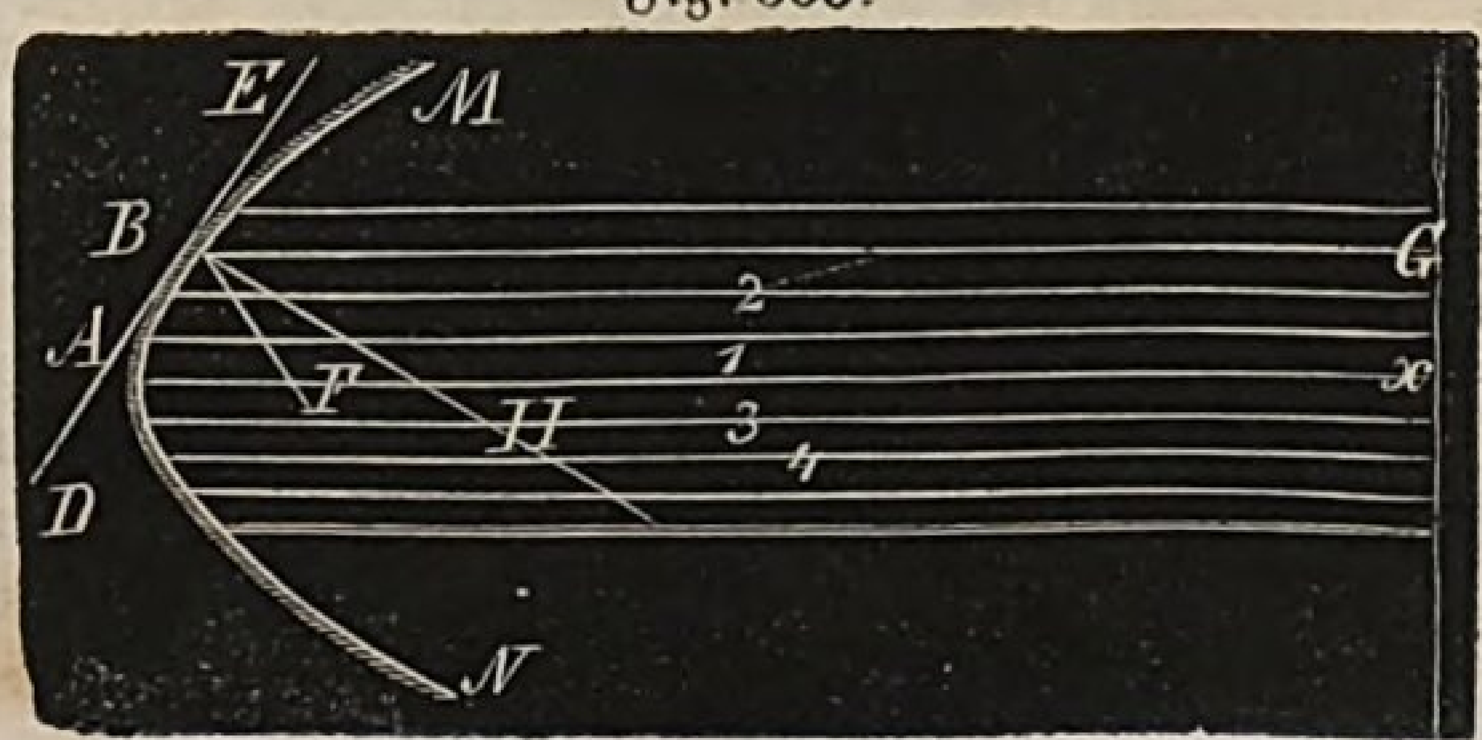


Fig. 554.



Bei parabolischen Hohlspiegeln, wovon MN (Fig. 555) einen Durchschnitt darstellt, kommen die Bilder vor dem Spiegel befindlicher leuchtender Punkte oder Gegenstände auf dieselbe Weise zu Stande, wie bei den sphärischen Hohlspiegeln; nur vereinigen die parabolischen Spiegel alle zur Spiegelaxe A x parallel auffallenden Strahlen 1, 2, 3, 4 ... nach der Reflexion genau in einem einzigen Punkte dieser Axe, dem Brennpunkte F, was seinen Grund in der bekannten

Fig. 555.

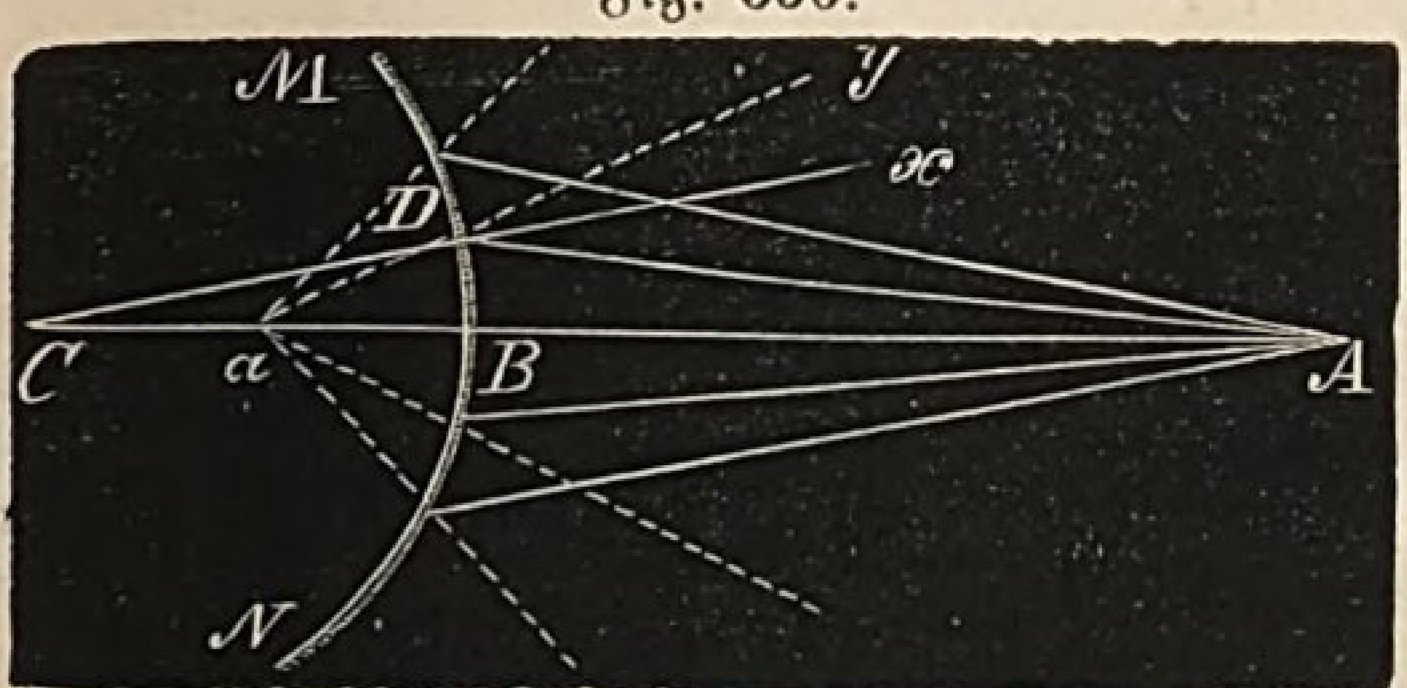


Eigenschaft der Parabel hat, daß jede Tangente z. B. **DE** zu irgend einem Punkte **B** der krummen Linie mit einer durch diesen Punkt der Axe **Ax** parallel gezogenen Geraden **GB** und mit dem Leitstrahle **FB** für denselben Punkt gleiche Winkel (**GBE** und **FBD**) macht, wornach auch die Winkel **GBH** und **FBH** gleich sind, welche von den Linien **GB** und **FB** mit der in **B** errichteten Normalen **BH** gebildet werden und den Einfalls- und Reflexionswinkel darstellen, wenn **GB** die Richtung eines einfallenden Lichtstrahles und **FB** seine Richtung nach der Reflexion ist. Parabolische Hohlspiegel erzeugen daher für Strahlen, welche von einem unendlich weit entfernten, aber in der Spiegelaxe gelegenen leuchtenden Punkte herkommen, keine Abweichung (der Strahlen von der Vereinigung in einem Punkte), und geben somit von einem solchen Punkte ein vollkommen reines, deutliches Bild. Liegt aber der leuchtende Punkt nicht in der Axe des Spiegels, so erfahren auch die von ihm ausgehenden Strahlen eine Abweichung, die jedoch bei sehr kleinem Abstande dieses Punktes von der Axe auch sehr gering ist.

Außer den bereits betrachteten Hohlspiegeln verdienen noch die cylindrischen und die kegelförmigen Hohlspiegel einer kurzen Erwähnung. Sie wirken nach den Richtungen, nach welchen sich auf ihrer spiegelnden Fläche gerade Linien ziehen lassen, wie ebene Spiegel und in dem darauf senkrechten Sinne wie sphärische Hohlspiegel. Die parabolischen und sphärischen Spiegel werden als Brennspiegel angewendet. Kehrt man nämlich einen solchen Spiegel der Sonne zu, am besten so, daß die Strahlen parallel zu seiner Axe einfallen; so entsteht sehr nahe um den Brennpunkt herum ein kleines Sonnenbild und wegen der hier stattfindenden Concentration aller auf den Spiegel auffallenden Sonnenstrahlen eine so große Hitze, daß daselbst brennbare Gegenstände sich entzünden und, wenn die Menge der concentrirten Strahlen, zu Folge hinreichender Größe des Spiegels, groß genug ist, selbst die am schwersten schmelzbaren Körper geschmolzen und verflüchtigt werden können. Die wichtigste Anwendung der Hohlspiegel ist die als Beleuchtungsspiegel bei Mikroskopen und zur Construktion von Fernröhren (hievon das Nähere später), bei Lampen auf Leuchtthürmen und zur Sichtbarmachung anderer entfernter Gegenstände zur Nachtzeit. Da nämlich die Lichtstrahlen einer im Brennpunkte des Spiegels angebrachten, stark leuchtenden Lampe oder einer andern passenden Lichtquelle (durch Elektrizität glühend gemachter Kohlenspitzen [siehe **235** und S. 498] oder eines durch die Hydro-Oxygengasflamme im Glühen erhaltenen Kalkstückes, worüber wir das Nähere in der Wärmelehre finden werden u. s. w.) zum bei weitem größten Theile so zurückgeworfen werden, daß sie unter sich und mit der Spiegelaxe parallel fortgehen; so wird die hervorgebrachte Erleuchtung mit der Entfernung nicht mehr so erheblich abnehmen, wie bei divergenter Fortpflanzung (**286**), so daß, wenn überdies von dem Lichtverluste wegen nicht vollkommener Durchsichtigkeit der Atmosphäre abgesehen wird, alles Licht der Lichtquelle fast ungeschwächt bis in die größten Entfernungen gelangt.

294. Vom sphärischen Convexspiegel. Ist (Fig. 556) **MN** ein Durchschnitt eines solchen Spiegels, **C** der Krümmungsmittelpunkt der spiegelnden Fläche, **A** ein vor dieser Fläche befindlicher leuchtender Punkt, **AB** ein Strahl, dessen hinter dem Spiegel verlängerte Richtung durch den Krümmungsmittelpunkt **C** geht, und **AD** ein anderer mit **AB** einen sehr kleinen Winkel einschließender Strahl; so stellen die Verlängerungen **BA** und **Dx** der Halbmesser **CB** und **CD** die Einfallslothe beider Strahlen vor.

Fig. 556.



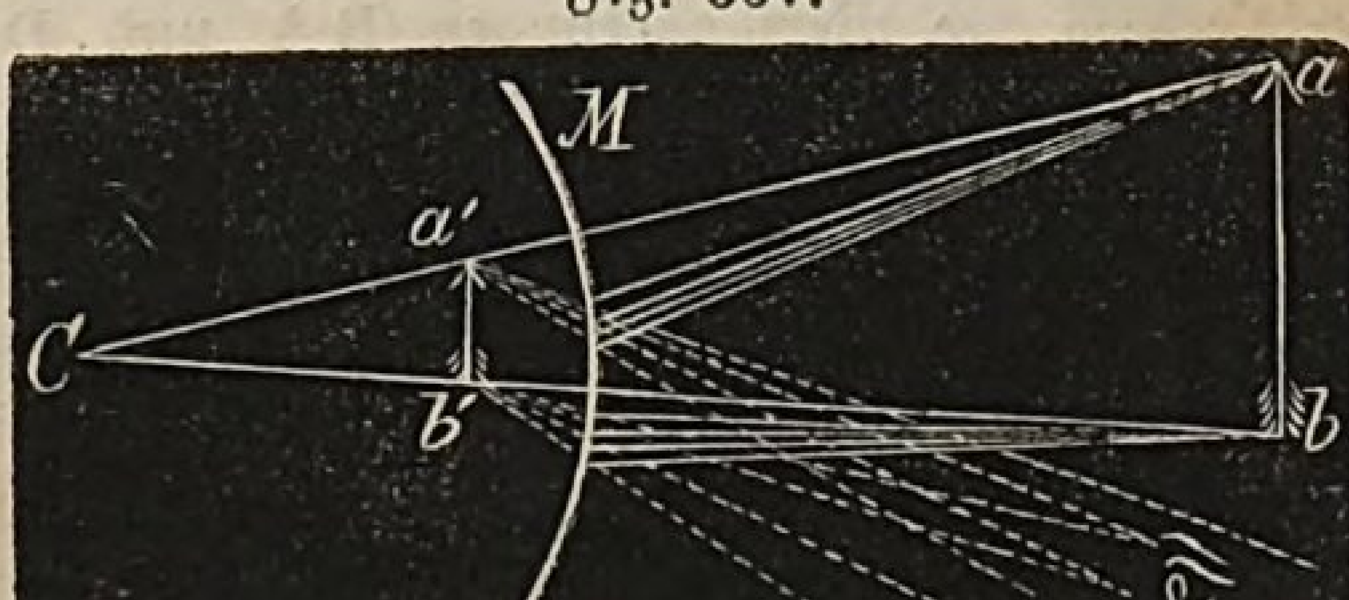
Es wird offenbar der Strahl **AB** in der seiner Auffallsrichtung gerade entgegengesetzten Richtung d. i. von **B** nach **A** hin zurückgeworfen, weswegen er wieder der Hauptstrahl heißt, und der Strahl **AD** wird nach der Linie **Dy** reflektirt, vorausgesetzt, daß die Winkel **ADx** und **xDy** gleich sind. Diese Linie schneidet, hinter dem Spiegel verlängert, dessen Halbmesser **CB** im Punkte **a**, und in diesem Punkte müssen die Verlängerungen der Reflexionsrichtungen aller Strahlen zusam-

mentreffen, die von **A** rings um den Hauptstrahl **AB** und gegen diesen unter mit **DAB** gleichen Winkeln auf den Spiegel gelangen, so daß alle diese Strahlen nach der Reflexion von a herzukommen scheinen und das Auge daher, wenn es deren einige empfängt, in a ein Bild des leuchtenden Punktes **A** sieht, welches mithin hinter dem Spiegel erscheint. Zur näheren Bestimmung der Lage dieses Bildes führt die Formel $\frac{1}{\alpha} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right)$, ... (154)
welche sich ergibt, wenn bei Ableitung der auf S. 625 für den Hohlspiegel aufgestellten Grundformel (152) der Halbmesser r des Spiegels negativ genommen wird. Daß aber diese bloße Zeichenveränderung die Formel des Hohlspiegels in die für den Convexspiegel geltende umstalte, erhellet sogleich bei der Erwägung, daß der einzige wesentliche Unterschied zwischen einem Convexspiegel und einem Hohlspiegel von gleichem Krümmungshalbmesser nur in der Lage des Krümmungsmittelpunktes bezüglich der spiegelnden Fläche liegt, (indem dieser beim Hohlspiegel auf einerlei, beim Convexspiegel aber auf entgegengesetzter Seite mit der besagten Fläche sich befindet) und daß diesem Entgegengesetztsein der Mittelpunktslage in der Rechnung durch entgegengesetzte Zeichen des Halbmessers Genüge geleistet werde, man daher diesen letzteren bei einem Convexspiegel durch $-r$ darstellen müsse, wenn er für einen Hohlspiegel von gleicher Krümmung mit $+r$ bezeichnet worden.

Die obige Formel $\frac{1}{\alpha} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right)$ lehrt nun: 1) daß die Bildweite (α) für jeden positiven Werth von a negativ sei, d. h. das Bild eines leuchtenden Punktes immer hinter dem Convexspiegel erscheine (die von einem solchen Punkte auf den Spiegel fallenden Strahlen so reflektirt werden, als kämen sie von einem Punkte hinter dem Spiegel her); 2) daß α einen desto größeren Werth habe, je größer a und je größer p ist, d. h. daß das Bild desto weiter hinter dem Spiegel liege, je weiter der leuchtende Punkt vom Spiegel entfernt, (je weniger divergent die Strahlen auffallen) und je größer der Krümmungshalbmesser des letzteren ist. Für $a = \infty$ d. i. für parallel auffallende Strahlen, ist $\alpha = -p$ d. h. die Bildweite hat die Größe des halben Krümmungsradius (da der Annahme auf S. 625 unter (†) zu Folge $p = \frac{r}{2}$ ist) und dies ist ihr größter, bei einem bestimmten Krümmungshalbmesser erreichbarer Werth, was sich ganz deutlich zeigt, wenn man der Formel (154) die Gestalt $\alpha = -p \cdot \frac{a}{a+p}$ gibt. Denn könnte $\alpha > p$ werden, so müßte auch $p \cdot \frac{a}{a+p} > p$, mithin $\frac{a}{a+p} > 1$ oder $a > a + p$ werden können, was offenbar absurd ist.

Es ist nun für sich klar, daß auch das Bild eines leuchtenden Gegenstandes in einem Convexspiegel immer hinter der Spiegelfläche entstehen müsse. Die Figur 557, in welcher M den Spiegel, C dessen Krümmungsmittelpunkt, a b den Gegenstand und a_1 b_1 sein Bild vorstellt, zeigt den Weg einiger der Strahlen, die dem Auge das Bild sichtbar machen, und man ersieht aus dieser Figur zugleich, daß das Bild stets aufrecht und verkleinert (kleiner als der Gegenstand) erscheinen müsse. Die sphärischen Convexspiegel haben außerdem, daß man sie benützt, um nachzuzeichnende Gegenstände z. B. Landschaften, Gebäude u. s. w. im verkleinerten Maßstabe zu sehen, wei-

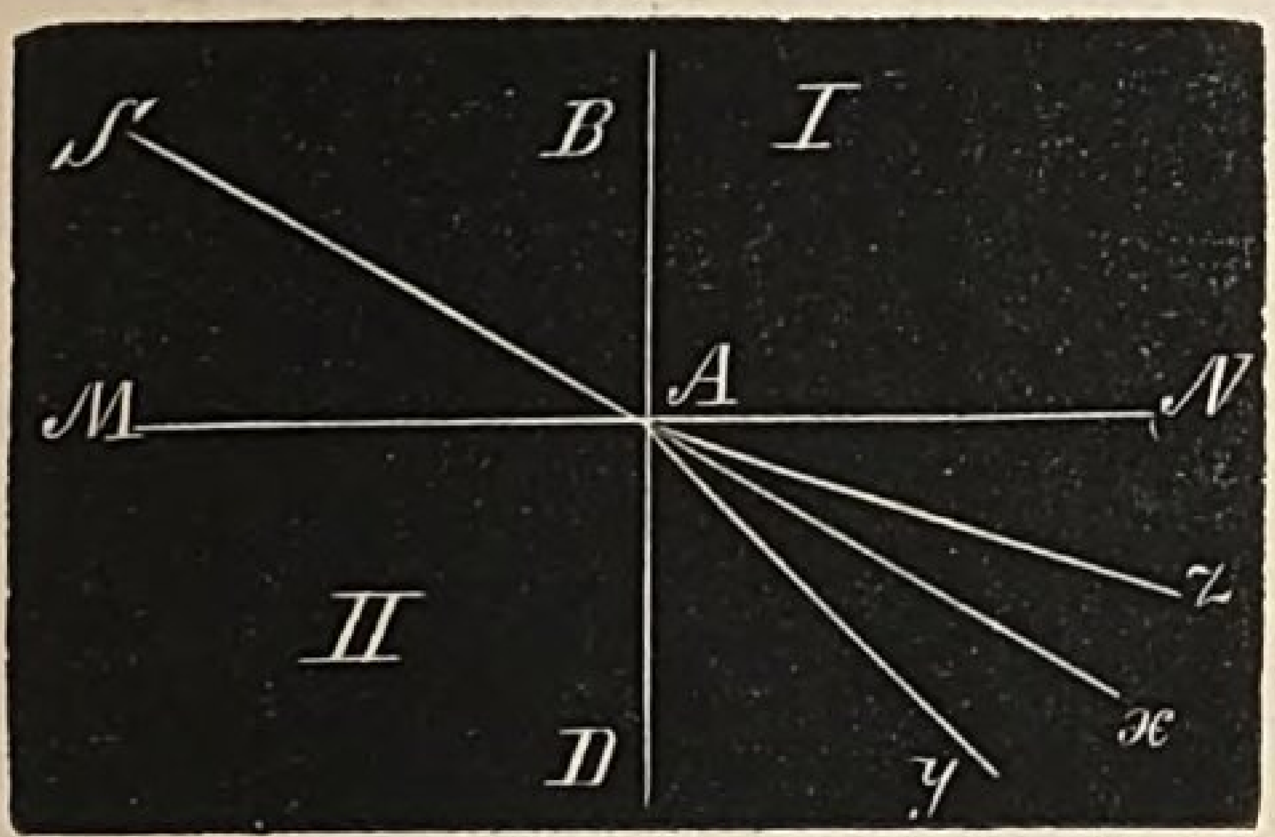
Fig. 557.



er keinen praktischen Werth. Cylindrische und konische Convexspiegel, die in der Richtung, in welcher sich auf ihrer Fläche gerade Linien ziehen lassen, wie ebene Spiegel und in der darauf senkrechten Richtung wie sphärische Convexspiegel wirken, werden, da sie die Bilder der Gegenstände nach der erwähnten ersteren Richtung in natürlicher Größe, nach der letzteren aber verkleinert zeigen, bei den sogenannten katoptrischen Anamorphosen, nämlich dazu angewendet, um Bilder, die dem bloßen Auge verzerrt erscheinen, in richtiger natürlicher Gestalt darzustellen.

295. Allgemeine Gesetze der einfachen Brechung des Lichtes. Wir wissen aus **288**, daß von dem an der Grenzfläche zweier ungleichartiger Mittel anlangenden Lichte immer ein Theil in das Mittel, in welchem es an diese Grenzfläche kömmt, zurückgeworfen wird und der andere Theil in das zweite Mittel eintritt. Im Vorhergehenden wurde nur der erstere, die Zurückwerfung erfahrende Theil näher betrachtet, nun soll zunächst das Verhalten des anderen, in das zweite Mittel eintretenden Lichtantheiles unter der Voraussetzung, daß letzteres Mittel ein durchsichtiges und überall gleichförmiges sei, zum Gegenstand der Betrachtung gemacht werden. Zu diesem Behufe sei in Fig. 558 **A** ein Punkt der vorbesagten Grenzfläche, **SA** die Richtung eines in diesem Punkte anlangenden Lichtstrahles, **MN** stelle den Durchschnitt dieser Grenzfläche, falls sie eben ist, für den entgegengesetzten Fall aber den Durchschnitt der Ebene vor, welche diese Fläche im Punkte **A** tangirt, und **AB** sei eine auf **MN** in **A** errichtete Senkrechte, welche mithin das Einfallsloth für den Strahl **SA** bildet. In Betreff des in das neue Mittel (unterhalb **MN**) eintretenden Antheils des Strahles **SA** lehrt nun die Erfahrung, daß derselbe in allen Fällen, nur jenen ausgenommen, wo die Einfallsrichtung des Strahles und das Einfallsloth zusammenfallen, seinen Weg nicht in der Verlängerung **Ax** der Einfallsrichtung **SA**, sondern nach einer andern geraden Linie z. B. **Ay** fortsetzt. Man nennt diese Ablenkung des Strahles von seiner Einfallsrichtung die Brechung desselben, und sagt von einem eine solche Ablenkung erfahrenden Strahle, er werde gebrochen. Der abgelenkte Strahl selbst heißt der gebrochene Strahl, der Winkel **DAy**, den die Richtung **Ay** dieses Strahles mit dem über **MN** hinaus verlängerten Einfallslothe macht, wird der Brechungswinkel und die Ebene, in welcher dieses Einfallsloth und der gebrochene Strahl liegen, die Brechungsebene des Strahles genannt. In den meisten Fällen ist der gebrochene Theil des einfallenden Strahles einfach, oft aber ist mit der Brechung zugleich auch eine Spaltung des gebrochenen Theiles in zwei Strahlen verbunden, die im neuen Mittel ihren Weg nach verschiedenen geraden Richtungen fortsetzen. Man unterscheidet deswegen die einfache oder gewöhnliche und die doppelte Brechung des Lichtes. Vorläufig kann nur die erstere, nämlich die einfache Brechung, wie sie beim Uebergange des Lichtes aus Luft in Wasser, Glas und überhaupt in nicht krystallisirte, durchsichtige Stoffe stattfindet, abgehandelt werden. Dieselbe geht immer nach folgenden aus der Erfahrung abgeleiteten Gesetzen vor sich: 1. Der gebrochene Strahl fällt stets in die Erweiterung der Einfallsebene und zwar im Vergleiche mit dem einfallenden Strahle auf die andere Seite des Einfallslothes; die Brechungsebene ist also nur die Erweiterung der Einfallsebene. 2. So lange das Mittel, in welchem die Brechung erfolgt, und das Mittel, aus welchem der Strahl in das erstere eintritt, in ihrer Substanz und Dichte unverändert bleiben, stehen der Sinus des Einfallswinkels und der Sinus des Brechungswinkels in einem bestimm-

Fig. 558.



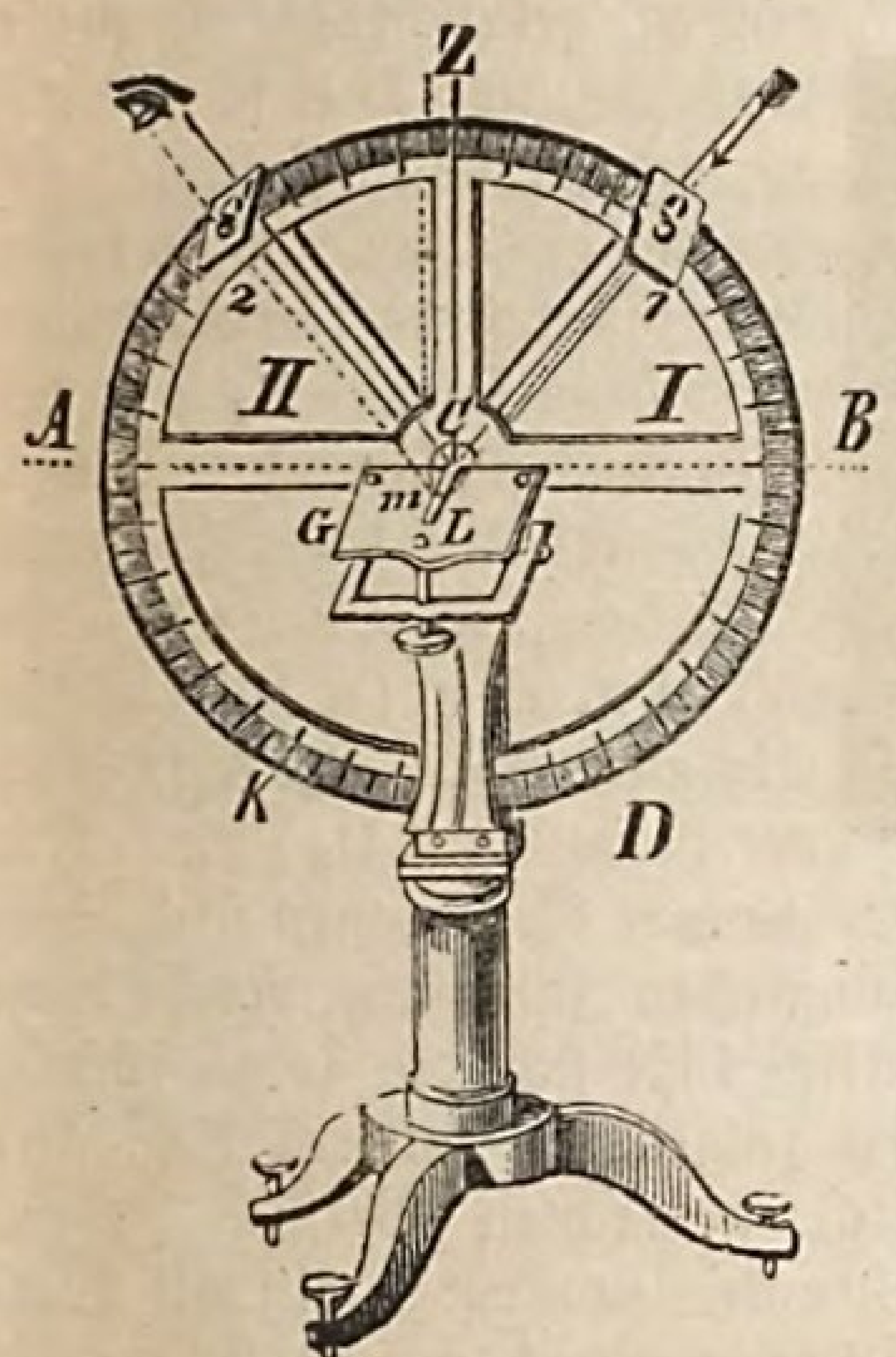
ten, von jeder Aenderung in der Größe des Einfallswinkels ganz unabhängigen und constanten Verhältnisse. . . . . (155)

Man nennt dieses Verhältniß das **Brechungsverhältniß**, und den Exponenten desselben, d. i. den Quotienten aus dem Sinus des Brechungswinkels in den Sinus des Einfallswinkels den **Brechungsexponenten** oder den **Brechungsindex**, und bezeichnet diesen gewöhnlich mit dem Buchstaben n. Demnach ist $\frac{\sin. SAB}{\sin. DAy} = n$ . . . (1) der Brechungsexponent für den Uebergang des Lichtes aus dem Mittel I (z. B. Luft) in das Mittel II (z. B. reines Wasser). n behält immer den nämlichen Werth, (welcher in dem beispielsweise angenommenen Falle $= \frac{4}{3}$ ist), es mag bei unverändert bleibender Beschaffenheit beider Mittel der Strahl SA unter was immer für einem andern, von SAB verschiedenen Winkel in MN eintreffen; es nimmt daher mit dem Einfallswinkel auch der Brechungswinkel in dem der Beständigkeit des Werthes von n entsprechenden Verhältnisse zu und ab . . . (2) Nimmt das Licht in den nämlichen zwei Mitteln den umgekehrten Gang, geht es nämlich aus dem Mittel II in das Mittel I über, wo dann der Winkel DAy den Einfalls- und der Winkel SAB den Brechungswinkel vorstellt; so hat der Brechungsexponent den reziproken Werth des vorigen, da aus Gleichung (1) dieser Exponent $\frac{\sin. DAy}{\sin. SAB} = \frac{1}{n}$ . . . (3) folgt. Für den Uebertritt des Lichtes aus Wasser in Luft ist also der Brechungsindex $\frac{3}{4}$.

Je nach Beschaffenheit der aneinander grenzenden Mittel (I und II in der Figur) ist der Brechungswinkel DAy kleiner oder größer als der Einfallswinkel SAB(=DAx). Im ersteren Falle wird durch die Brechung der Strahl aus seiner ursprünglichen Richtung dem Einfallslothe näher gebracht, man sagt dann daher mit Recht, das Licht werde **zum Einfallslothe** gebrochen; es ist da der Brechungsindex $n > 1$ . . . (4) und das Mittel II heißt **stärker** brechend als das Mittel I. Im letzteren Falle hingegen ist der gebrochene Strahl Az weiter vom Einfallslothe entfernt als die Richtung Sx des Strahles vor der Brechung. Man nennt dies deswegen eine Brechung **vom** Einfallslothe; bei derselben ist immer der Brechungsindex $n < 1$ . . . (5) und das Mittel II heißt dann **schwächer brechend** als das Mittel I. Bezüglich der Brechung **zum** oder **vom** Einfallslothe steht der Satz fest, daß bei zwei Mitteln, welche einerlei materielle Beschaffenheit und gleiche Aggregatzustände haben, die Brechung immer zum oder vom Einfallslothe stattfindet, je nachdem das Mittel, worin die Brechung erfolgt, dichter oder weniger dicht ist, als jenes, aus welchem das Licht kömmt. Bei Mitteln von verschiedener Materie und Aggregatform gilt jedoch dieser Schluß von der Dichte auf die Art der Lichtbrechung durchaus nicht allgemein. Für den Uebergang des Lichtes aus dem leeren Raume in ein Mittel heißt n der **absolute**, für den Uebergang aus einem Mittel in ein anderes der **relative** Brechungsexponent. Ersterer ist immer größer als 1 und beim Uebergange des Lichtes in Luft sehr nahe $=1$; man kann daher gewöhnlich den Uebergang des Lichtes aus Luft in ein anderes Mittel so betrachten, als wenn der Uebergang aus dem leeren Raume stattgefunden hätte.

Die unter (155) aufgestellten zwei Brechungsgesetze lassen sich leicht experimentell nachweisen, und es kann hiezu für den Fall, wo das Licht aus einer tropfbaren Flüssigkeit z. B. aus Wasser in Luft übergeht, recht gut der von **Cauchoix** zur Nachweisung der Reflexionsgesetze in Anwendung gebrachte, schon in **289** beschriebene und durch Fig. 528 versinnlichte Apparat dienen, vorausgesetzt, daß der dort erwähnte Metallstreifen mit dem scharfschneidigen Rande CL am Kreise selbst vor dessen Mittelpunkt so befestigt ist, daß dieser Rand CL genau mit der verlängerten Richtung der Drehare der beiden Laufer I und II zusammenfällt, und daß ferner das Spiegelglas G sammt dem dasselbe unmittelbar tragenden Gestelle sich vom Kreise

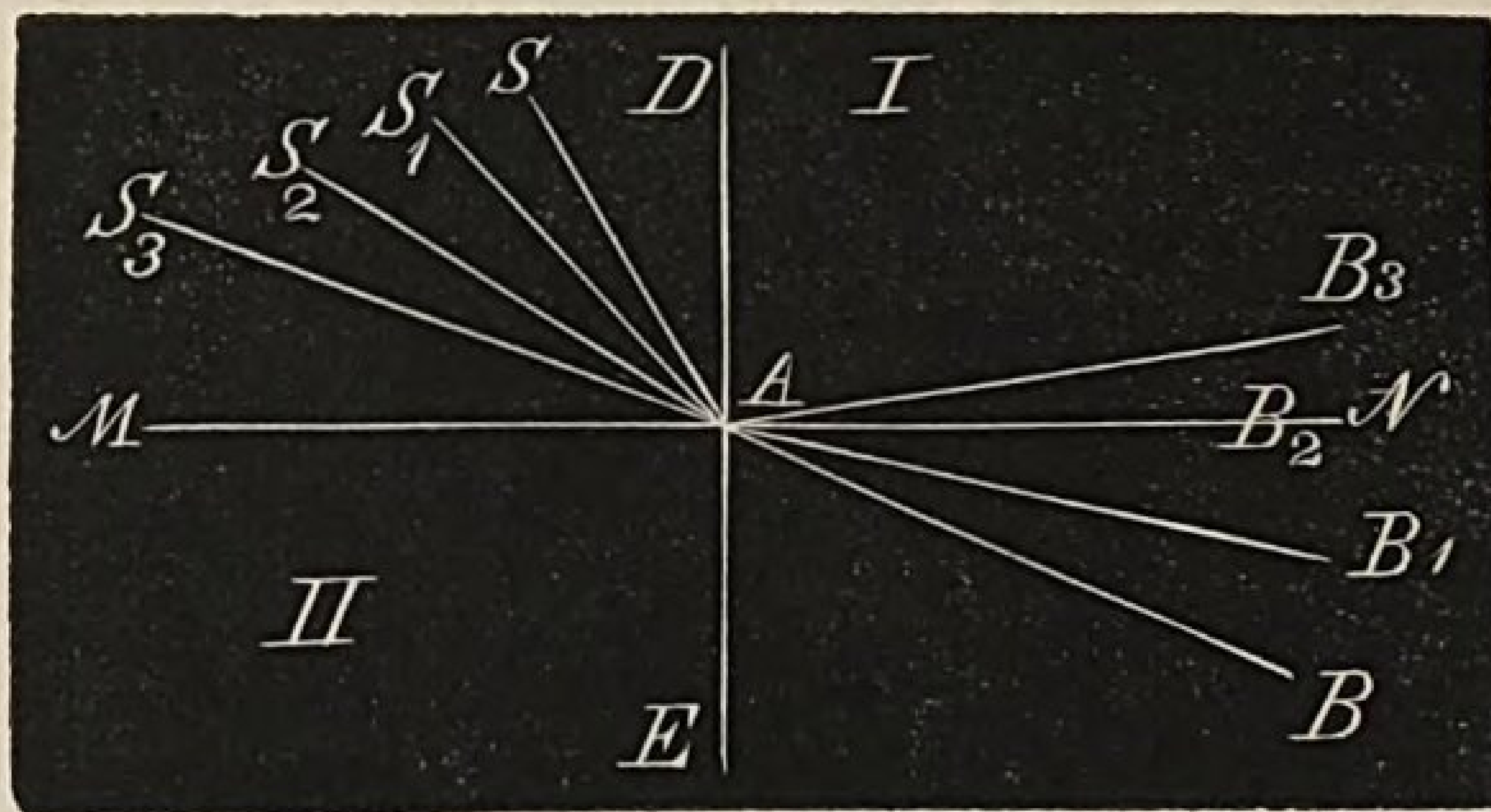
Fig. 559.



trennen lasse. Man stellt nämlich diesen, in Fig. 559 noch einmal abgebildeten Apparat nach Wegnahme des besagten Spiegelglases und dessen Gestelles in ein hinreichend tiefes, durchsichtiges (gläsernes) Gefäß, so daß die Ebene des Kreises senkrecht und der Durchmesser AB des letzteren horizontal ist, dreht dann den Laufer I unter diesen Durchmesser hinab, so daß er z. B. die Richtung von C nach D hat, gießt nun so lange Wasser in das Gefäß, bis die Oberfläche des ersteren genau mit dem Durchmesser AB zusammenfällt, beleuchtet nachher, etwa mittelst eines unten am Gefäße und außerhalb desselben angebrachten Spiegels die Oeffnung o in der Platte 1 des Laufers I mit starkem Sonnenlichte und verstellt endlich den Laufer II so lange, bis man beim Durchsehen durch die Oeffnung o' desselben das Bild des Loches o im Laufer I genau am Rande der scharfen Kante CL des vorerwähnten Metallstreifens sieht. Diese Bedingung wird sich immer erfüllen lassen und es wird dann der Strich m auf LC (**289**) den Einfallspunkt des vom Loche o aus ins Auge gelangenden Strahles bilden. Mithin liegt der von o nach m gelangende (der einfallende) und der von m aus nach o' gehende (der gebrochene) Strahl in einer und derselben Ebene, und dies ist das erste Brechungsgesetz. Mißt man ferner an der Kreistheilung den Winkel, welchen nun der in der Richtung CD befindliche Laufer I mit der Verlängerung der auf AB Senkrechten ZC macht d. i. den Einfallswinkel, dann den Winkel, welchen der Laufer II mit der Senkrechten ZC selbst einschließt, d. i. den Brechungswinkel, und nimmt von beiden Winkeln die Sinus, gibt hierauf durch Verrückungen des Laufers I dem Einfallswinkel allmälig verschiedene Größen, verstellt den Laufer II in jedem einzelnen Falle so, daß das Bild von o immer beim Striche m erscheint, und sucht wie vorher die Sinus der Einfalls- und die Sinus der korrespondirenden Brechungswinkel; so wird man das im 2. Brechungsgesetze ausgesprochene constante Verhältniß zwischen dem Sinus des Einfalls- und dem Sinus des korrespondirenden Brechungswinkels vollkommen bestätigt finden.

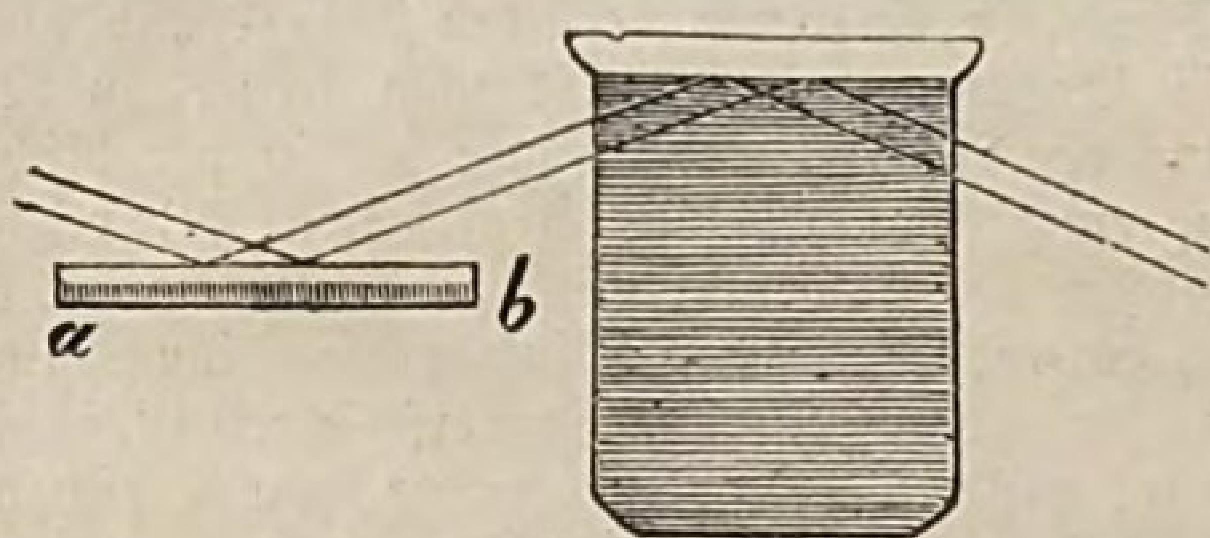
296. Uebergang der Brechung in Reflexion. (Totale Reflexion.) Wenn $n < 1$ d. h. der Sinus des Brechungswinkels größer als der Sinus des Einfallswinkels, mithin der Brechungswinkel selbst größer als der Einfallswinkel ist, also eine Brechung vom Einfallslothe erfolgt; so gibt es, da nach (2) S. 632 mit dem Einfallswinkel auch der Brechungswinkel wächst, immer einen von 90° verschiedenen Werth des ersteren, bei welchem der letztere Winkel 90°, mithin der Sinus desselben $= 1$ und folglich der Brechungsexponent n dem Sinus des Einfallswinkels gleich ist. Bei diesem Werthe des Einfallswinkels (und wir wollen der Kürze wegen diesen Werth mit a bezeichnen) geht der gebrochene Strahl parallel der den Einfallspunkt tangirenden Ebene, streift also, wenn diese Ebene die wirkliche Trennungsfläche beider Mittel ist, längst dieser Fläche. Erhält der Einfallswinkel einen größeren Werth als a, so muß [wieder nach (2) S. 632] der Winkel, den der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe macht, größer als 90° werden, d. h. auch der Antheil des einfallenden Lichtes, der bei kleineren Einfallswinkeln als a in das neue Mittel eintrat und darin eine Brechung erlitt, kehrt nun in das alte Mittel zurück, und es wird daher kein Theil des an die Trennungsfläche beider Mittel gelangenden Lichtes gebrochen, sondern dieses erfährt daselbst eine totale Reflexion. Der Werth a des Einfallswinkels heißt der Grenzwinkel, weil er die Grenze zwischen den Größen der Einfallswinkel bildet, bei welchen Brechung oder totale Reflexion statt findet, und derselbe ergibt sich aus der Gleichung $\sin a = n$. Zum Behufe der Erläuterung des Vorstehenden sei in Fig. 560 MN die Trennungsfläche eines schwächer brechenden Mittels II und eines stärker brechenden Mittels I, SA, S_1A, S_2A, S_3A ... seien die Richtungen eines unter verschiedenen Winkeln in A einfallenden Strahles; BA, B_1A, B_2A, B_3A ... die

Fig. 560.



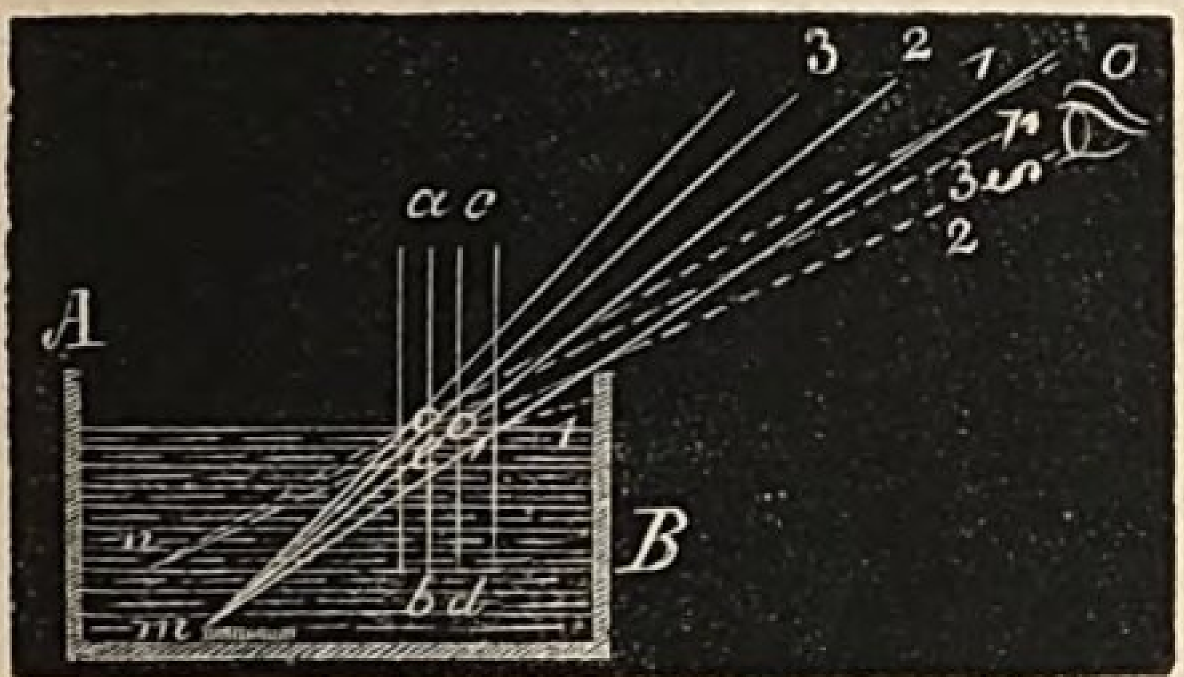
Richtungen der korrespondirenden gebrochenen Antheile desselben, und **DE** sei das gemeinschaftliche Einfallsloth. Es ist dann der Winkel S_2AD der Grenzwinkel, da für diesen der gebrochene Strahl B_2A in der Trennungsfläche beider Mittel liegt, und für jeden größeren Einfallswinkel findet schon totale Reflexion (z. B. für den Einfallswinkel S_3AD nach der Richtung AB_3) statt. Nur einzig und allein bei Spiegelungen, die Folge solcher totaler Reflexionen sind, verliert also das einfallende Licht nichts von seiner ursprünglichen Intensität. Recht leicht und deutlich läßt sich die totale Reflexion durch folgenden, mittelst Fig. 561 anschaulich gemachten Versuch zeigen. Man rühre Kreidepulver in ein mit Wasser gefülltes, etwas weites Glasgefäß ein, lasse das Gefäß hierauf etwa 24 Stunden lang ruhig stehen und leite nachher mittelst eines ebenen Spiegels **ab** der Oberfläche des Wassers im Gefäße direkte Sonnenstrahlen in für die totale Reflexion hinreichend schiefer Richtung zu. Man sieht dann ihren Weg im Wasser an den erleuchteten Kreidetheilchen, aber durchaus kein Licht aus dem Wasser austreten, während ein solcher Austritt augenblicklich durch die Beleuchtung der Staubtheilchen in der Luft über der Wasseroberfläche bemerkbar wird, wenn man dieser die Lichtstrahlen entsprechend weniger schief zuleitet. — Daß eine etwa ½ Zoll weite und Luft enthaltende Glasröhre, wenn man sie mit dem einen, zugeschmolzenen Ende in sehr geneigter Stellung unter Wasser taucht und dann in sehr schiefer Richtung ansieht, spiegelt als ob sie mit Quecksilber gefüllt wäre, kömmt ebenfalls von der totalen Reflexion des auf sie sehr schief auffallenden Lichtes. Hieher gehört auch folgender, zuerst von Colladon angestellter schöner Versuch. Ein etwa 1 Meter hohes, prismatisches, mit Wasser gefülltes Gefäß hat nahe dem Boden an der einen Seite eine kleine Oeffnung, durch welche also ein Wasserstrahl ausfließt. Dieser Oeffnung in horizontaler Richtung gegenüber enthält das Gefäß eine große Oeffnung, die durch eine Sammellinse verschlossen ist. Leitet man in verfinstertem Raume durch die Linse Sonnen- oder elektrisches Licht, und hat die Linse eine entsprechende Brennweite, so daß die Strahlen genau in der Ausflußöffnung konvergiren gemacht werden, so treffen sie die innere Oberfläche der ausfließenden parabolischen (**110**) Wasserader so schief, daß sie zum größten Theil eine totale Reflexion erfahren und nicht austreten können. Dasselbe wiederholt sich an jedem der folgenden Punkte, in welchen sie immer nach erlittener Reflexion wieder an die besagte Oberfläche treffen, und so folgt das Licht dem Strahle innerlich in allen seinen Krümmungen, in demselben eingeschlossen bleibend. Fängt man den Wasserstrahl wo immer mit einer Fläche (am besten aus Glas) auf, so erscheint sein Querschnitt glänzend erleuchtet. Auf diese Weise ist also das Licht gezwungen, in einer Kurve fortzugehen. Daß man den parabolischen Strahl selbst sieht, was besonders bei unreinem Wasser stark der Fall ist, kömmt von dem Antheile des Lichtes, welcher nicht reflektirt, sondern zerstreut wird.

Fig. 561.



Erklärung einiger der wichtigeren auf der Brechung des Lichtes beruhenden Erscheinungen. 1. Liegt am Boden eines Gefäßes AB Fig. 562 eine Münze

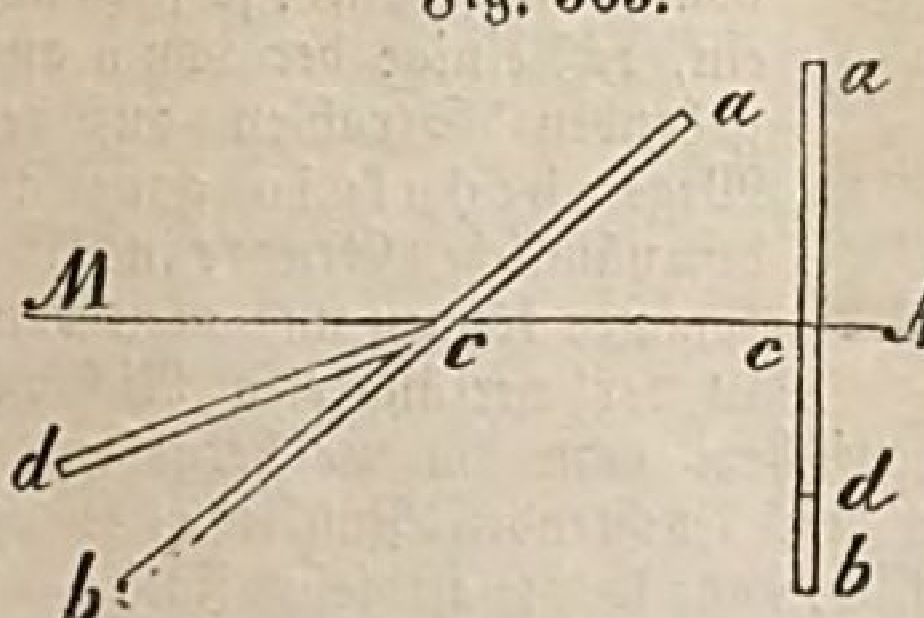
Fig. 562.



o. dgl. und hat das Auge über dem Gefäße eine solche Stellung, daß es wegen der Undurchsichtigkeit der Wand B keinen von der Münze ausgehenden Strahl empfängt, mithin die Münze nicht sieht, und man läßt, ohne das Auge, die Münze oder das Gefäß zu verrücken, in letzteres immer mehr Wasser so vorsichtig eingießen, daß hierdurch die Münze nicht von ihrem Platze kömmt; so wird diese dem Auge alsbald sichtbar. Es erklärt sich dies bei der Erwägung, daß, wenn auch keiner der von einem Punkte der Münze ausgehenden Strahlen 1, 2, 3 . . . ins Auge kommen kann, so lange das Gefäß leer ist, beim Eingießen von Wasser bald einige dieser Strahlen z. B. 2 und 3 durch Brechung vom Einfallslothe dem Auge (nach den punktirten Richtungen) zugeleitet werden müssen, so daß dieses den besagten Punkt in dem höher erscheinenden Durchschnittspunkten sieht. Daß aber n höher erscheinen müsse, ergibt sich folgender Maßen. Sind ab und cd die Einfallslothe für die Punkte o und o_1, folglich mob und mo_1d die Einfallswinkel der Strahlen mo und mo_1, so ist offenbar $meb = emo + moe$ (der äußere Winkel gleich der Summe der zwei inneren entgegengesetzten), ferner $ome = meb - moe$ oder $omo_1 = meb - mob$, und wegen $meb = mo_1d$, auch $omo_1 = mo_1d - mob \ldots (\dagger)$, d. h. omo_1 ist der Unterschied der Einfallswinkel der Strahlen mo und mo_1. Auf ähnliche Art erweist sich der Winkel ono_1 als der Unterschied der Brechungswinkel roa und so_1c für diese Strahlen . . . (*). Bedeutet n den Brechungsexponenten für den Uebergang des Lichtes aus Wasser in Luft, so hat man dem 2. Brechungsgesetze zu Folge $n = \frac{\sin. mob}{\sin. roa} \ldots (1)$ und eben so $n = \frac{\sin. mo_1d}{\sin. so_1c}$ oder weil nach (†) und (*) $mo_1d = omo_1 + mob$ und $so_1c = ono_1 + roa$ ist, auch $n = \frac{\sin. (omo_1 + mob)}{\sin. (ono_1 + roa)}$. Entwickelt man diese Sinus der Summen von Winkeln und schafft den Nenner des Bruches durch Multiplikation weg; so erhält man: $n (\sin. ono_1 \cos. roa + \cos. ono_1 \sin. roa) = \sin. omo_1 \cos. mob + \cos. omo_1 \sin. mob$. Wegen Kleinheit der Winkel omo_1 und ono_1 kann $\sin. omo_1 = omo_1$ und $\cos. omo_1 = 1$, ferner $\sin. ono_1 = ono_1$ und $\cos. ono_1 = 1$ angenommen werden; man hat daher $n. ono_1 \cos. roa + n. \sin. roa = omo_1 \cos. mob + \sin. mob$, oder weil nach Gleichung (1) $\sin. mob = n \sin. roa$ ist, endlich $n. ono_1 \cos. roa = omo_1 \cos. mob \ldots (2)$, woraus $ono_1 = \frac{omo_1 . \cos. mob}{n. \cos. roa}$ folgt. Nach den Lehren der Trigonometrie ist aber $\cos. mob = \sqrt{(1 - \sin.^2 mob)} \ldots (3)$ und $\cos. roa = \sqrt{(1 - \sin.^2 roa)}$; mithin hat man $n \cos. roa = n \sqrt{(1 - \sin.^2 roa)} = \sqrt{(n^2 - n^2 \sin.^2 roa)}$, und da aus Gleichung (1) $n^2 \sin.^2 roa = \sin.^2 mob$ folgt, ergibt sich endlich $n \cos. roa = \sqrt{(n^2 - \sin.^2 mob)} \ldots (4)$. Da die Brechung beim Uebergang des Lichtes aus Wasser in Luft vom Einfallslothe geschieht, mithin $n < 1$ ist; so muß auch $n^2 - \sin.^2 mob < 1 - \sin.^2 mob$ oder $\sqrt{(n^2 - \sin.^2 mob)} < \sqrt{(1 - \sin.^2 mob)}$, daher zu Folge Gleichung (3) und (4) $n . \cos. roa < \cos. mob$, und somit in Bezug auf die Gleichung (2) $ono_1 > omo_1$ sein. Es liegt daher der Punkt n gewiß höher, als der Punkt m.

Daß Gleiches auch auf alle andern Punkte der Münze Anwendung leidet, diese also ganz sichtbar werden kann, und dann immer der Oberfläche des Wassers näher erscheinen müsse, als

Fig. 563.

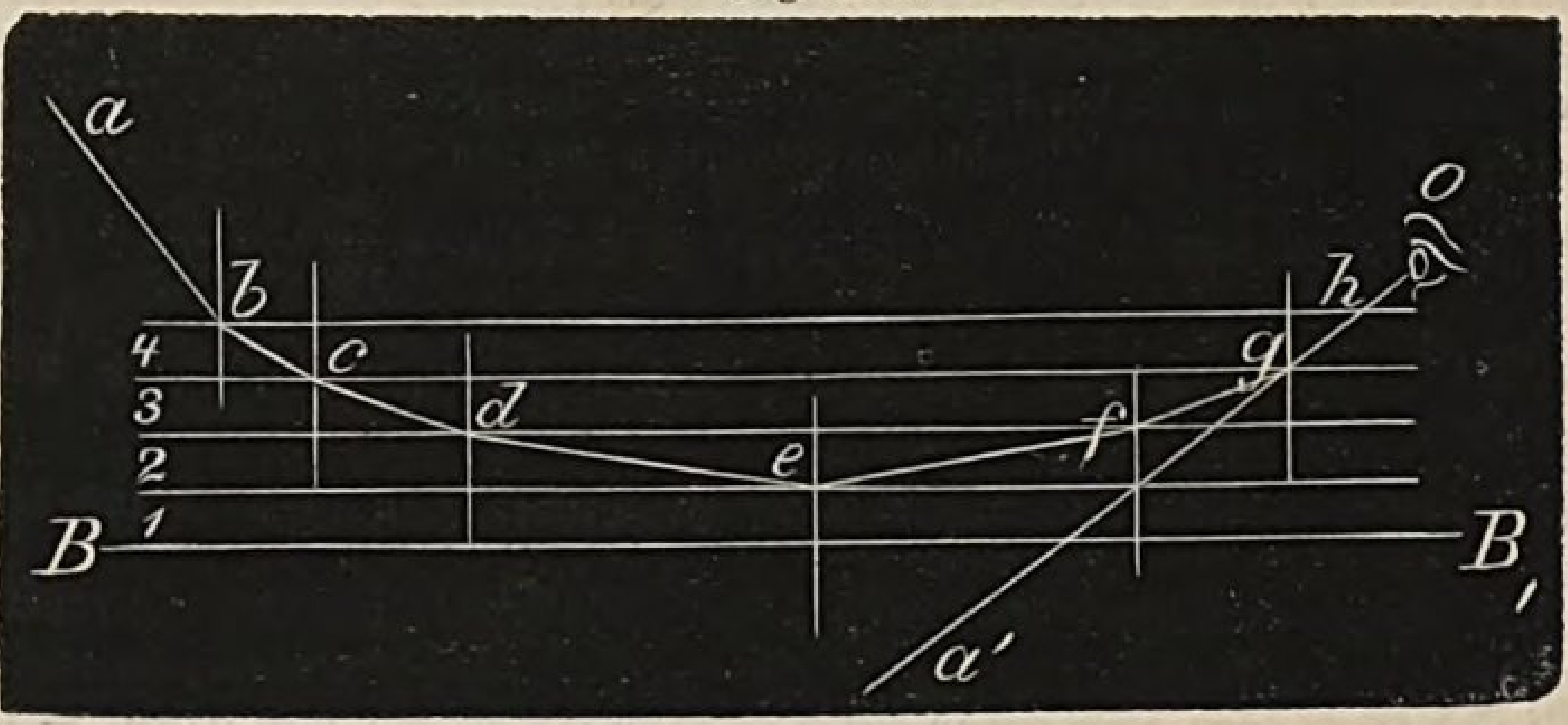


sie sich wirklich befindet, ist nun für sich klar. Da letzteres in gleichem Maße, wie für die Münze, auch für alle Punkte des Gefäßbodens selbst gilt; so begreift man, warum die Tiefe eines mit Wasser gefüllten Gefäßes, eines Baches, dessen reines Wasser bis auf den Grund sehen läßt, u. s. w. immer geringer erscheint, als sie wirklich ist. Eben so liegt der Grund, warum der unter eine Wasseroberfläche MN (Fig. 563) getauchte Theil cb eines Stockes ab abgebrochen (in der Lage cd) oder verkürzt erscheint, je nachdem der Stock schief oder senkrecht gegen MN eingetaucht worden, offenbar darin, daß das außer dem Wasser befindliche

Auge jeden der Punkte des eingetauchten Stockstückes cb höher (den Punkt b in d u. s. w., mithin alle zwischen b und c gelegenen Punkte in der Linie cd) sieht.

2. Die Luftspiegelung. Diese Erscheinung, welche darin besteht, daß man im Freien entfernte Objekte, z. B. Schiffe, Thürme, Dörfer u. s. w. der Erde entrückt, oft in der Luft schwebend, wohl gar doppelt, oder umgekehrt sieht, und daß unter dem Horizonte liegende Gegenstände nicht selten über demselben befindlich erscheinen, zeigt sich vorzüglich in Gegenden, wo der sandige Boden durch die Sonnenstrahlen sehr stark erwärmt ist, und hat ihren Grund in der Brechung des Lichtes in Luftschichten von verschiedener Dichte. Das Nähere werden folgende Beispiele begreiflich machen. Wird das Erdreich von den Sonnenstrahlen stark erhitzt, so bekommen die zunächst an dasselbe grenzenden und von dessen Hitze participirenden Luftschichten eine geringere Dichte, als die entfernteren, können aber in diesem Zustande, anstatt in die Höhe zu steigen, an ihrem Platze verbleiben, wenn in der Luft völlige Windstille und Ruhe herrscht. Gesetzt, es seien in Fig. 564 1, 2, 3, 4 . . . über dem Boden gelagerte und zu Folge der Hitze des letzteren der Reihe nach an Dichte zunehmende Luftschichten, ferner sei a ein über diesen Schichten gelegener Punkt eines leuchtenden Gegenstandes und o das Auge eines Beobachters; so sieht dieser offenbar den Punkt a direkt nach der Richtung oa, zugleich aber auch ein Bild dieses Punktes in der Richtung oa′, nach welcher einige der von a ausgehenden Strahlen auch auf dem Wege abcdefgho ins Auge gelangen. Diesen Weg nehmen sie zu Folge der Brechung vom Einfallslothe, die sie an den Grenzflächen der ungleichdichten Luftschichten (in b, c u. s. w.) erfahren und die, wenn die Strahlen so nach dem Durchgange durch mehrere derlei Schichten schon sehr schief geworden sind, in totale Reflexion übergeht (wie in der Figur bei e), dann zu Folge der von hier an eintretenden Brechung zum Einfallslothe, welche sie beim nunmehrigen Uebergange immer aus dünneren in dichtere Luftschichten an den Punkten f, g u. s. w. erleiden. Daß

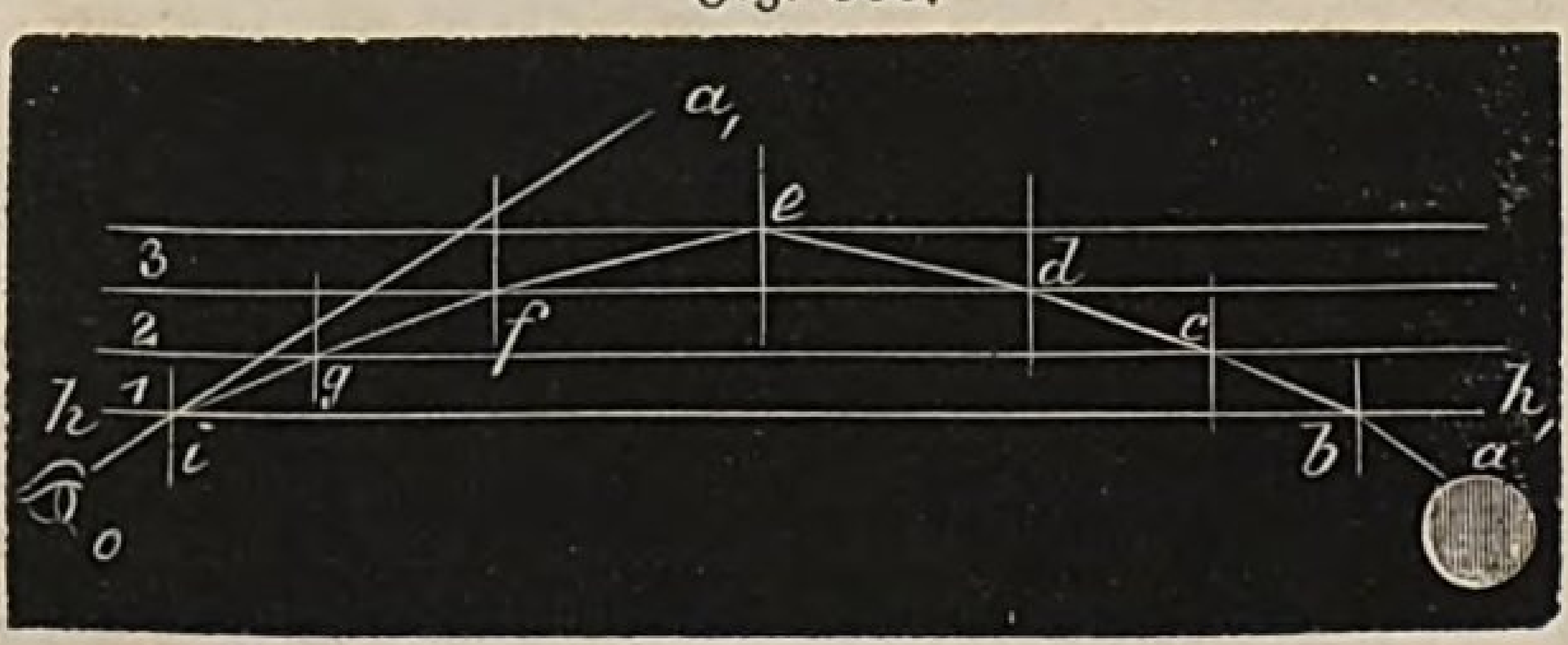
Fig. 564.



der in der Figur durch eine polygonale Linie dargestellte Weg der Lichtstrahlen in der Wirklichkeit ein krummliniger sei, erhellet bei der Erwägung, daß die Dichte der Luftschichten gegen den Boden hin stetig abnimmt, mithin auch die Strahlen stetig abgelenkt werden. Es ist nämlich ihr Weg gleichsam eine Polygonallinie von unendlich kleinen Seiten (Theilen), d. h. eine krumme Linie. Auf ganz gleichem Grunde beruht das Doppelterscheinen entfernterer, kleiner Gegenstände, wenn man nach denselben über eine den Sonnenstrahlen ausgesetzte Metallfläche hinsieht, insbesondere wenn diese geschwärzt ist und sich daher um so stärker erhitzt.

Bedeutet in Fig. 565 hh_1 den Horizont, a einen Punkt eines unter demselben befindlichen leuchtenden Gegenstandes, z. B. der Sonne kurz vor ihrem Aufgange, o das Auge eines Beobachters und 1, 2, 3, 4 . . . sehr dünne Schichten der unter gewöhnlichen Verhältnissen von der Erdoberfläche nach aufwärts an Dichte allmälig abnehmenden Luft; so sieht man ein, daß einige der von a ausgehenden Strahlen auf dem Wege abcdefgio ganz aus dem nämlichen Grunde ins Auge kommen können und man dann in der verlängerten Richtung

Fig. 565.



von oi z. B. in a_1 ein Bild von a sehen müsse, aus welchem man im vorhergehenden, durch Fig. 564 anschaulich gemachten Falle ein Bild a′ des leuchtenden Punktes a in der Verlängerung von o h zu sehen bekömmt. Es werden nämlich, ganz so wie in diesem Falle, die Strahlen in den unteren Schichten 1, 2 . . . vom Einfallslothe gebrochen, diese Brechung

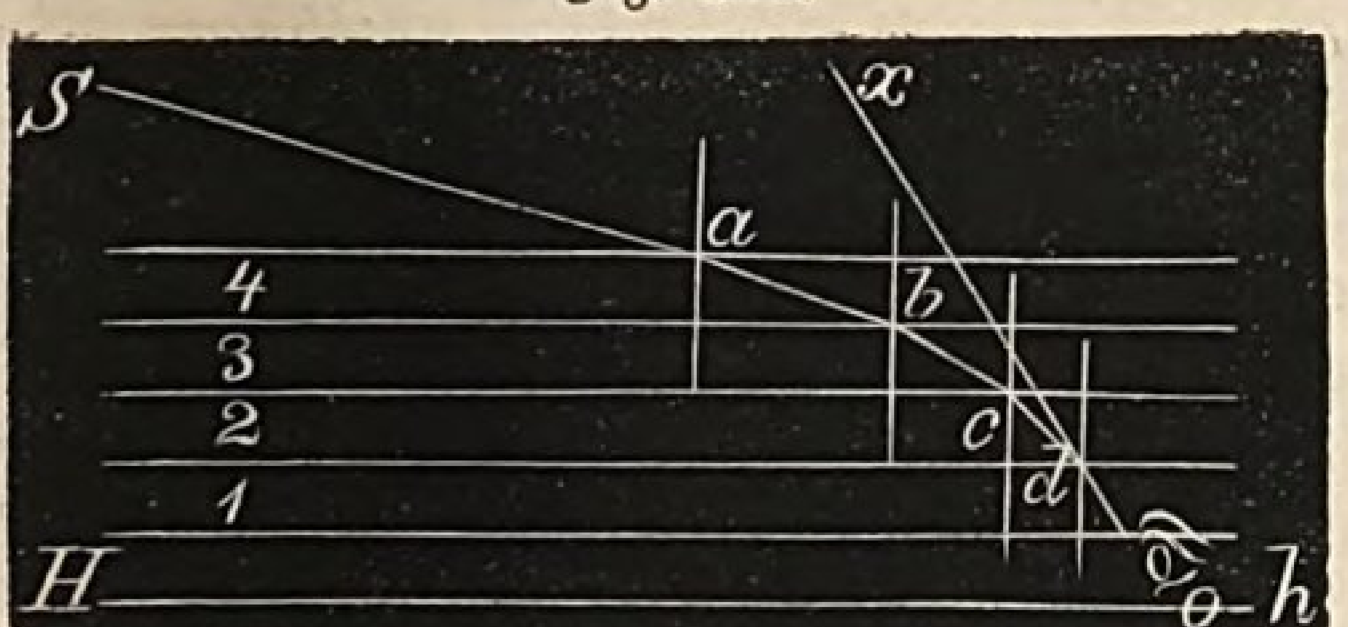
geht endlich, nachdem die Strahlen hiedurch eine sehr schräge Richtung gegen die Grenzen der Schichten erhalten haben, in totale Reflexion (z. B. bei e) über, und hierauf erfahren die Strahlen bei f, g . . . eine Brechung zum Einfallslothe. In wiefern das Nämliche auch von Strahlen aller andern Punkte des unter dem Horizonte befindlichen Gegenstandes gilt, wird man diesen ganzen Gegenstand über dem Horizonte erblicken, also z. B. die Sonne uns schon zu einer Zeit als aufgegangen erscheinen müssen, wo sie noch nicht wirklich aufgegangen ist.

Gießt man in ein gläsernes (am besten viereckiges) Gefäß 2 Flüssigkeiten über einander, welche eine verschiedene Dichte haben und sich allmälig mischen, z. B. Schwefelsäure und Wasser, und sieht nahe an ihrer gemeinschaftlichen Grenzfläche und derselben entlang nach einem kleinen, nicht weit entfernten Gegenstande hin; so erblickt man zwei Bilder desselben, ein aufrechtes und ein verkehrtes. Das erstere kömmt von den Strahlen, die der besagten Grenzfläche parallel ins Auge gelangen, und das letztere wird durch Strahlen erzeugt, welche auf krummlinigem Wege zu Folge der Brechungen dem Auge zugeführt werden, die sie in den von unten nach aufwärts an Dichte stetig abnehmenden Schichten des Flüssigkeitsgemisches erleiden.

Merkwürdige Beispiele von Luftspiegelung sind folgende: In Nieder-Aegypten erscheint das Land, wenn es durch die Sonnenstrahlen stark erhitzt ist, in gewisser Entfernung allseitig vom Wasser umgeben und die darüber hinausgelegenen Dörfer sehen wie Inseln in der Mitte eines großen Sees aus. Unter jedem Dorfe erblickt man sein umgekehrtes Bild, so wie es erscheinen würde, wenn das Wasser wirklich vorhanden wäre. In dem Maße als man sich dem so erscheinenden Wasser nähert, rückt dieses immer weiter fort, verschwindet endlich ganz und die Täuschung tritt für ein anderes entfernteres Dorf hervor. Aehnliche Täuschungen kommen auch in Wüsten vor, und thun da sehr wehe, weil sie gerade zu der Zeit stattfinden, wo man des Wassers am meisten bedürftig ist. Auf dem Meere beobachtet man bei ruhigem Wetter von einem entfernten Fahrzeug oft zwei Bilder, ein aufrechtes und ein umgekehrtes, letzteres dem ersteren an Größe und Helligkeit vollkommen gleich, so als wäre es durch Zurückwerfung des Lichtes an einem Spiegel entstanden (woher auch der Name Luftspiegelung kömmt) u. s. w.

3. Die astronomische Strahlenbrechung, d. i. jene Brechung, welche die von den Sternen und andern Himmelskörpern kommenden Lichtstrahlen in den verschiedentlich dichten Schichten der Atmosphäre erfahren, und welcher zu Folge diese Himmelskörper immer in größerer Höhe über dem Horizonte erscheinen, als sie sich wirklich befinden. Stellt Hh (Fig. 566) den Horizont eines Beobachters, 1, 2, 3, 4 . . . wieder wie vorher eine Reihe von Luftschichten vor, die von unten nach oben an Dichte abnehmen und deren jede einzelne so wenig dick ist, daß in derselben die Dichte überall als gleichförmig vorausgesetzt werden kann, ist ferner S ein Stern und Sa ein von demselben herkommender Lichtstrahl; so erleidet dieser in den erwähnten Schichten (an den Stellen a, b, c, d . . .) lauter Brechungen zum Einfallslothe (die senkrechten Linien stellen die Einfallslothe vor), die aus geraden Linien zusammengesetzte gebrochene Linie bezeichnet den Weg, auf welchem der Lichtstrahl ins Auge o des Beobachters gelangt und dieser sieht mithin den Stern in der Verlängerung ox der Geraden od. Es bedarf nach dem Vorhergehenden wohl nicht mehr der Erwähnung, daß, da die Dichte in der Atmosphäre von oben nach unten stetig zunimmt, die Anzahl der besprochenen Schichten unendlich groß und die Dicke jeder einzelnen unendlich klein gedacht werden müsse, mithin der Weg des Strahles Sa durch die Atmosphäre eine stetige und zwar nach der Erde hin hohle krumme Linie bilde und das Auge den Stern in der Richtung der Tangente dieser Curve sehe.

Fig. 566.



297. Zerlegung des weißen Lichtes in farbige Bestandtheile (Farbenzerstreuung oder Dispersion). Das weiße Licht der Sonne und anderer leuchtender Körper ist aus verschiedenartigen Theilen zusammengesetzt, in welche es bei jeder Brechung, die es erfährt, zerlegt wird, indem der gebrochene Strahl in der Brechungsebene innerhalb eines gewissen Winkels sich ausbreitet, seine Theile also in diesem Winkel zerstreut werden. Diese Theile erscheinen zugleich unter einander verschiedenfarbig. Um dies darzuthun, muß man die Brechung in einem nicht von parallelen Flächen begrenzten durchsichtigen Mittel vor sich gehen lassen, weil solche Mittel das Licht von der ursprünglichen Richtung mehr ablenken und die

besagte Zerstreuung in einem und demselben Mittel mit der Größe dieser Ablenkung zunimmt, welche übrigens unter sonst gleichen Umständen wieder mit der Abweichung der erwähnten Flächen von Parallelismus wächst. Am besten wendet man Sonnenlicht und als brechendes Mittel ein dreiseitiges Prisma aus reinem Glase mit ebenen, wohl polirten Flächen an, und verfährt in der durch Fig. 567 versinnlichten Weise. Man leitet mittelst des Spiegels s eines Heliostates (S. 612) durch eine kleine, im Fensterladen angebrachte Oeffnung o Sonnenlicht in horizontaler Richtung in ein verfinstertes Zimmer und fängt den Strahlenbüschel auf einer der Oeffnung o gegenüberstehenden weißen Wand w w_1 auf. Man sieht da auf dieser eine kreisrunde, weiße Lichtscheibe b (das Bild der Oeffnung). Fängt man hierauf den durch die Oeffnung o eintretenden Strahlenbüschel mit dem Glasprisma a b c auf, welches sehr nahe an dieser Oeffnung so aufgestellt worden, daß die Kante c am brechenden Winkel a c b horizontal und nach abwärts gekehrt ist; so wird das Licht von seiner ursprünglichen horizontalen Richtung nach oben hin abgelenkt, tritt als divergirender Strahlenbündel aus dem Prisma hervor, und man sieht auf der Wand, anstatt der Lichtscheibe, ein längliches, an den beiden Enden von Halbkreisen und an den Seiten von geraden parallelen und gegen die Kante c des Prismas senkrechten Linie begrenztes Bild, welches eine dem Durchmesser des vorigen kreisrunden Bildes b gleiche Breite hat, und worin vom untern zum obern Ende hin der Reihe nach deutlich folgende sechs Hauptfarben: Roth (r), Orange (Rothgelb) (o), Gelb (g), Grün (gr.), Blau (b) und Violet (v) unterschieden werden können, die in unzähligen Abstufungen allmälig in einander übergehen. Man nennt dieses längliche Bild Farbenbild oder Spektrum und die Farben selbst prismatische Farben. Bei jedesmaliger Wiederholung des Versuches liegt immer das rothe Ende am nächsten und das violete am entferntesten gegen die Stelle, wo ohne Prisma das weiße Bild erscheint. Es haben somit durch die Brechung im Prisma die rothen Strahlen die geringste und die Violeten die größte Ablenkung erfahren; die ersteren sind daher die am wenigsten, die letzteren die am meisten brechbaren Theile des weißen Sonnenlichtes, und es besitzen die übrigen farbigen Theile einen desto größeren Grad der Brechbarkeit, je weiter sie im Farbenbilde von dessen rothem Ende entfernt sind. Enthält die Wand oder Tafel w w_1 (Fig. 568) an der Stelle, auf welcher das erzeugte Farbenbild r v erscheint, eine ganz kleine, kreisrunde Oeffnung n; so gehen durch dieselbe Strahlen derjenigen Farbe z. B. der rothen des Bildes hindurch, welche gerade auf diese Oeffnung fällt, und man sieht, wenn sie (die durchgehenden Strahlen) mit einer zweiten, der ersten parallelen Tafel t t_1 aufgefangen werden, auf dieser ein kleines kreisrundes Bild b_2 der Oeffnung n von der Farbe der durchgegangenen Strahlen (also in unserem als Beispiel angenommenen Falle von rother Farbe). Fängt man diese Strahlen, bevor sie die Tafel t t_1 erreichen, mit einem zweiten Prisma p auf, so ist das Bild b_1, welches dann auf dieser Ta=

Fig. 567.

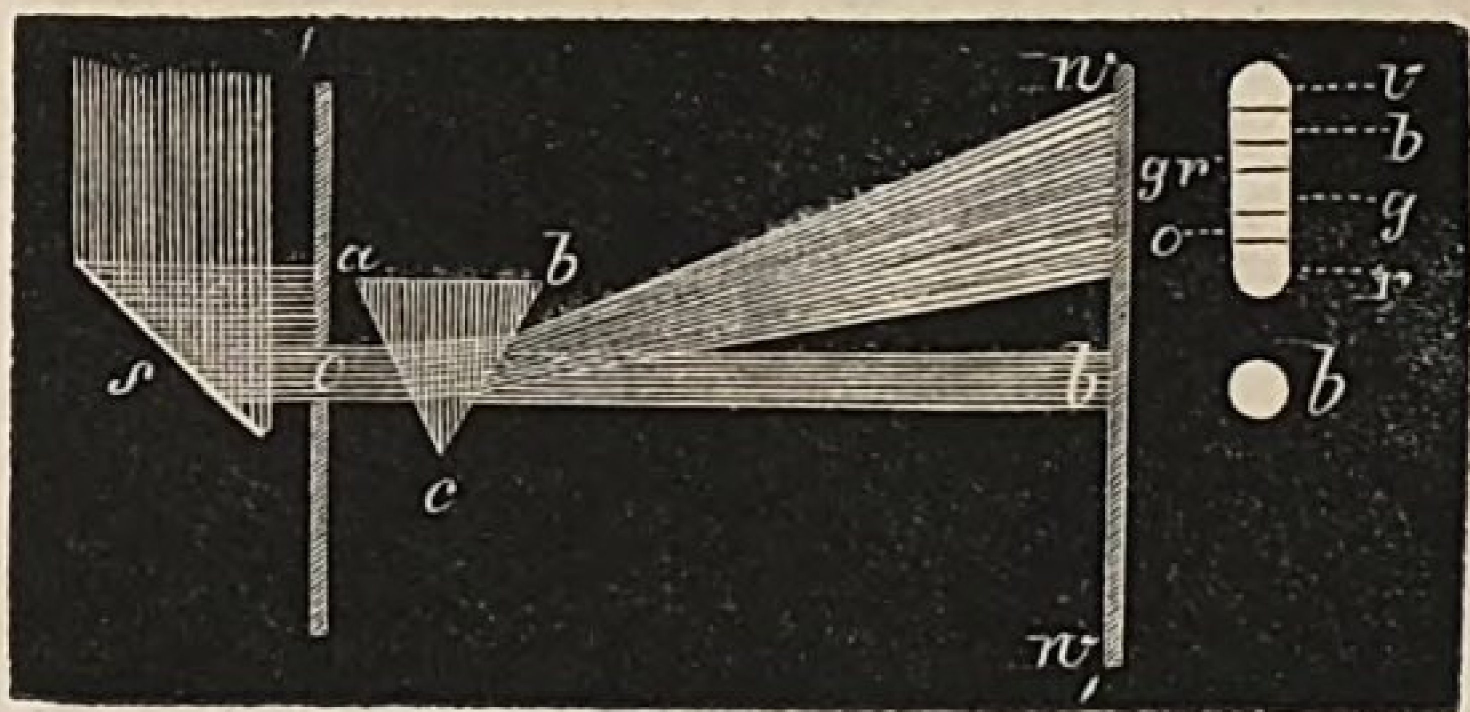
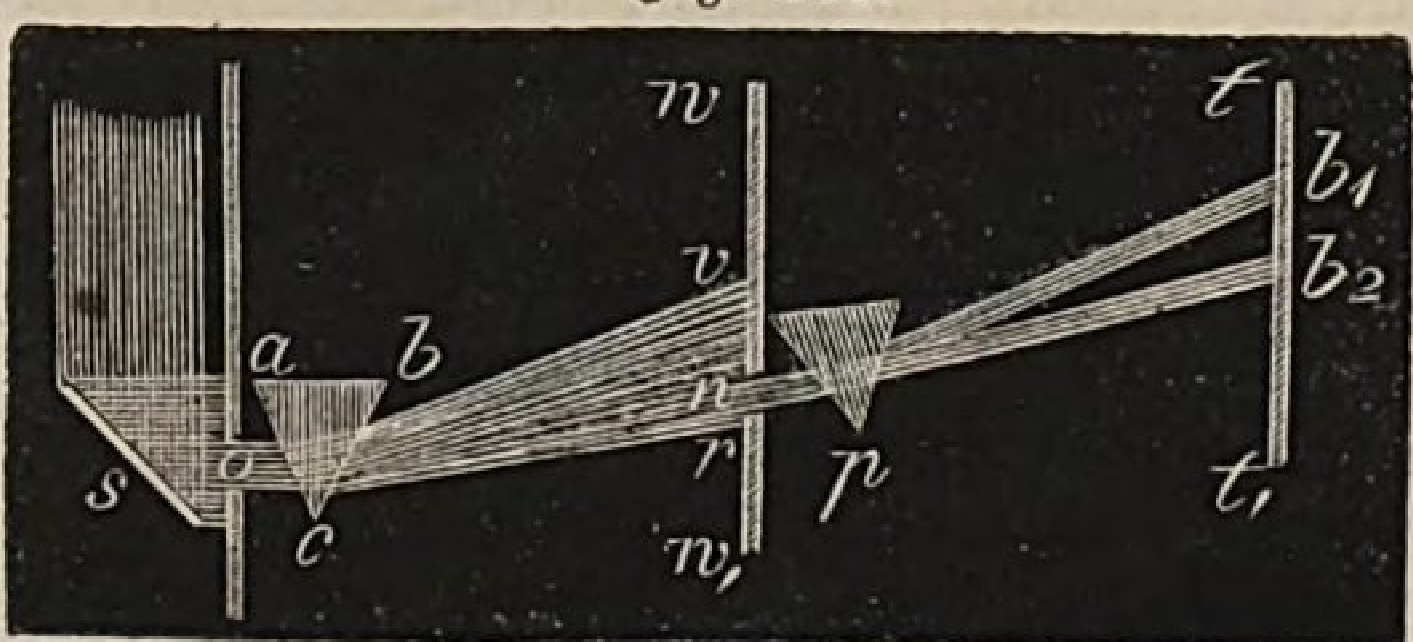


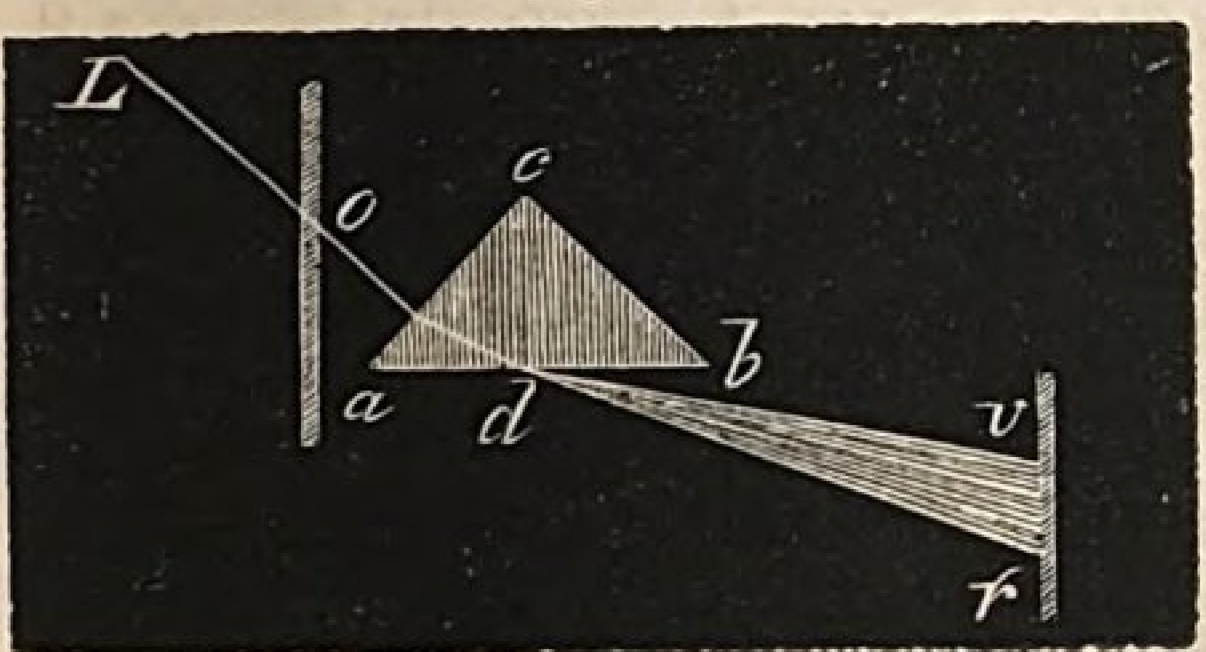
Fig. 568.



fel erscheint, (vorausgesetzt, daß das Prisma um die brechende Kante entsprechend geneigt ist) nicht länglich, sondern rund wie vorher, zeigt nicht verschiedene Farben, sondern nur die Farbe (die rothe) der durch n gegangenen Strahlen, und diese erscheinen desto mehr abgelenkt, je weiter ihre Farbe von dem rothen Ende des Spektrums entfernt ist. Diese Erscheinungen, welche sich nicht blos an dem von der Sonne, sondern auch an dem von andern leuchtenden Körpern kommenden Lichte zeigen, setzen folgende von Newton zuerst aufgestellte Gesetze außer Zweifel: 1) Das weiße Licht ist ein Gemische aus ungleichartigen, in verschiedenem Grade brechbaren Theilen, und 2) jeder dieser Theile, für sich einzeln betrachtet, besitzt einen bestimmten Grad der Brechbarkeit, und mit jedem bestimmten Grade der Brechbarkeit ist die Eigenschaft verbunden, in uns die Empfindung einer eigenen Farbe zu erregen. . . . . (156)

Diese verschieden brechbaren Bestandtheile des weißen Lichtes unterscheiden sich von einander auch hinsichtlich der Fähigkeit, zurückgeworfen zu werden, was aus dem Umstande hervorgeht, daß die stärker brechbaren des Uebergangs der Brechung in Reflexion fähiger sind, wie folgendes Experiment beweist. Man lasse einen

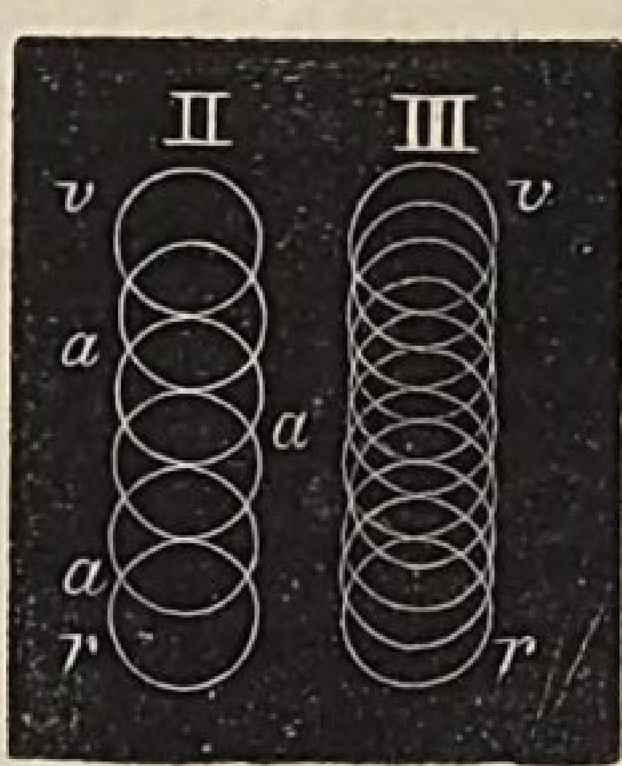
Fig. 569.



durch die Oeffnung o (Fig. 569) am Fensterladen des verfinsterten Zimmers eintretenden Strahl **L o** auf ein Glasprisma **a b c**, an welchem jeder der zwei Winkel bei **a** und b 45° beträgt, so auffallen, daß er nach der Brechung bei d wieder aus dem Prisma austritt und unter diesem ein Farbenbild **v r** erzeugt. Dreht man hierauf successive das Prisma um die Karte **b** und in der Richtung von **a** nach **c** hin, so daß der Strahl immer schiefer auf die Fläche **a b** auffällt; so nimmt auch die Schiefe seiner austretenden farbigen Bestandtheile, indem sie der Fläche **a b** sich immer mehr nähern, stets zu, und man sieht bei fortgesetzter Drehung von dem Farbenbilde allmälig zuerst das Violet (v), nach diesem das Blau, dann das Grün, Gelb, Rothgelb, zuletzt das Roth dadurch verschwinden, daß sie successive in das Innere des Prismas zurückgeworfen werden, wodurch der oben für die Bestandtheile des weißen Lichtes ausgesprochene Zusammenhang zwischen der Fähigkeit gebrochen und jener reflektirt zu werden, dargethan ist.

298. Zahl der verschieden brechbaren und farbigen Theile des weißen Lichtes. Zusammensetzung der prismatischen Farben zu Weiß. Es leuchtet ein, daß bei der durch ein Prisma bewirkten Zerlegung des weißen Lichtes in seine Bestandtheile, wie sie durch Fig. 567 veranschaulicht wurde, jeder solche Bestandtheil von einem bestimmten Grade der Brechbarkeit und von bestimmter Farbe auf der Wand $w w_1$ ein eigenes kreisrundes Bild von dieser Farbe und von der Größe des ursprünglichen weißen Bildes **b** erzeugen muß. Enthielte nun das weiße Licht nur eine geringe Zahl in Bezug auf Brechbarkeit und Farbe unter einander verschiedener Theile z. B. nur sechs d. i. so viele Theile, als im Farbenbilde Hauptfarben unterscheidbar sind; so müßte dieses Farbenbild vom äußersten Roth (r) bis an die äußerste Grenze des Violet (v) aus sechs nach einander folgenden, runden, farbigen Bildern, von denen immer das folgende mit dem vorhergehenden zum Theil zusammenfällt, bestehend erscheinen und an den Seiten kreisförmig gebogene Einschnitte (a Fig. 570 bei II) zeigen, könnte daher nicht so wie es wirklich immer der Fall ist, gerade parallele Linien zur Seitenbegränzung haben. Die Zahl der verschieden brechbaren und farbigen Bestandtheile des weißen Lichtes kann demnach keine geringe, sondern muß vielmehr eine unendlich große sein; denn nur, wenn in dem Raume zwischen den oben erwähnten äußersten Grenzen des

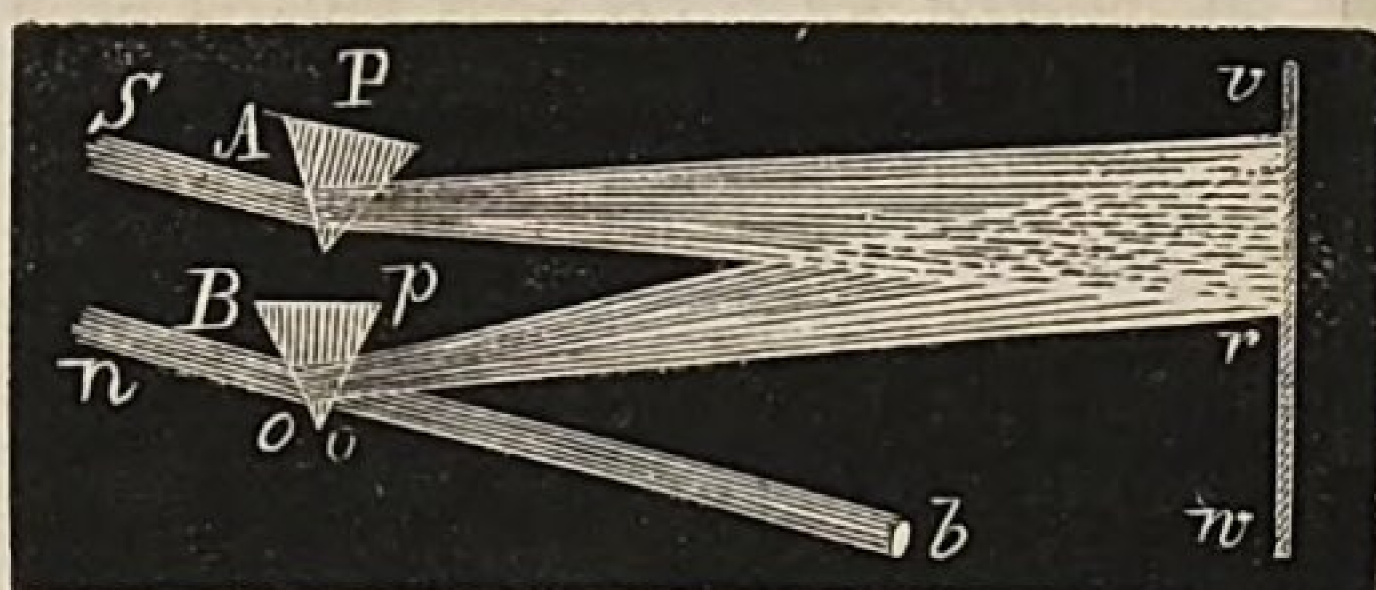
Fig. 570.



Roth und Violet unendlich viele, theilweise über einander fallende, kreisrunde Bilder vorhanden sind, verschwinden die besagten (bei allmäliger Zunahme der Anzahl dieser Bilder nothwendig immer kleiner werdenden) Einschnitte an den Seiten gänzlich, so daß die Begrenzung daselbst geradlinig erscheint, (siehe **III** Fig. 570). Außerdem nöthigt zur Annahme einer unendlich großen Anzahl verschieden brechbarer und farbiger Theile im weißen Lichte das Vorhandensein unzähliger Farbenabstufungen im Spektrum, die allmälig und ohne daß die Grenzen zwischen denselben angebbar sind, in einander übergehen.

Der Beweis, daß das weiße Licht eine Mischung aus den besprochenen prismatischen Farben sei, läßt sich nicht blos, wie wir es bisher gethan, durch Analyse (Zerlegung) des weißen Lichtes, sondern auch auf synthetischem Wege d. i. durch Zusammensetzung der prismatischen Farben zu Weiß herstellen. Daß diese Farben zusammen aber wirklich weiß geben, lehrt unter andern auch folgender schon von Newton angestellter Versuch. Man lasse einen durch eine runde Oeffnung im Fensterladen eines verfinsterten Zimmers eingetretenen Strahl **S** durch ein Prisma **P** (Fig. 571) gehen, so daß auf einer 15—20 Fuß davon entfernten Wand **w** ein Spektrum **r v** entsteht. Stellt man ein zweites völlig gleiches Prisma **p** dem ersten ganz nahe und parallel so auf, daß es an der nämlichen Stelle der Wand dasselbe Spektrum erzeugen würde, wenn ein Sonnenstrahl in der zu **S A** parallelen Richtung **n o** darauf fiele, so werden die

Fig. 571.



verschiedenfarbigen Strahlen, welche von den Punkten des Spektrums **r v** aus das Prisma **p** treffen, in diesem auf die nämliche Weise wie in **P**, nur mit entgegengesetzter Durchgangs-Richtung, gebrochen werden und bei ihrem Austritte im Punkte **o** wieder ein Bündel **o n** paralleler Strahlen darstellen, wie sie es bei ihrem Eintritte im Punkte **A** bildeten. Kömmt dieses dann ins Auge des Beobachters, so muß es darin, wie wenn es vor dem Eintritte in das Prisma **P** dahin gelangt wäre, wieder die Empfindung des Weiß erregen, und der Beobachter wird in der Richtung **B b** ein rundes weißes Bild sehen. Die Zusammensetzung des Weiß aus den prismatischen Farben läßt sich auch mittelst der sogenannten Farbenscheibe oder des Farbenkreisels zeigen. Es ist dies eine kreisrunde, mit weißem Papier überzogene Scheibe, welche (Fig. 572) durch Radien in Sektoren getheilt ist, deren Flächen sich wie die Räume verhalten, welche die Hauptfarben im prismatischen Spektrum einnehmen, und welche Sektoren mit diesen Farben entsprechend bemalt sind. (Es erscheinen sieben Farben auf der Scheibe verzeichnet, weil zwischen Hellblau und Dunkelblau unterschieden ist, wie dies Newton, der Entdecker der Zusammensetzung des weißen Lichtes, gethan hat.) Wird diese Scheibe um eine auf ihrer Ebene senkrechte und durch das Centrum gehende Axe sehr schnell rotiren gemacht, so erscheint sie, weil die von ihr ausgehenden Eindrücke der prismatischen Farben

Fig. 572.



alle das Auge nach der nämlichen Richtung treffen (eben so wie im weißen Lichte, wo sie nach parallelen Richtungen erfolgen) und der Eindruck der einen Farbe im Auge noch fortdauert, während jener der nächsten hinzukömmt, weiß

(oder vielmehr graulichweiß, weil selbst die feinsten, zur Bemalung der Sektoren zu Gebote stehenden Farbestoffe den Farben des Spektrums an Reinheit und Lebhaftigkeit weit nachstehen). Trägt man nur einige der prismatischen Farben auf die Scheibe auf, so erscheint diese beim schnellen Rotiren in einer von Weiß und von den Farben der aufgetragenen Farbestoffe verschiedenen Mischungsfarbe, derselben nämlich, welche auch durch Mischung der Farbestoffe erhalten wird. Die Mischungsfarbe, welche aus der Vereinigung aller prismatischen Farben, mit Ausnahme einer einzigen hervorgeht, heißt die Ergänzungs- oder Complementärfarbe dieser letzteren, weil beide offenbar sich zu Weiß ergänzen. Roth ist die Ergänzungsfarbe zu Grün, Orange zu Blau, und Gelb zu Violet. Es bleibt nämlich Grün, Blau und Violet übrig, jenachdem man aus dem Spektrum Roth, Orange oder Gelb hinweg läßt. Daß bei Darstellung der Complementärfarben mittelst der Farbenscheibe auch diese Farben nicht rein und entschieden zum Vorschein kommen, hat seinen Grund wieder in der Unreinheit der Farbestoffe.

Brewster hat über die Zusammensetzung des Sonnenlichtes folgende Ansicht aufgestellt und zu beweisen gesucht. Das Sonnenlicht ist nur aus dreierlei Arten von Licht, nämlich rothem, gelbem und blauem zusammengesetzt; jeder dieser Lichtarten kommen Strahlen von allen Graden der Brechbarkeit zu, welche sich im prismatischen Spektrum vorfinden, jedoch so, daß das rothe Licht mehr Strahlen von geringerer Brechbarkeit, das gelbe mehr von mittlerer, das blaue mehr von größerer Brechbarkeit liefert, daher das erste am weniger brechbaren Ende, das zweite in der Mitte und das dritte am brechbarern Ende des Spektrums vorwiegt. Die übrigen Farbentöne des Spektrums, d. i. Orange, Grün und Violet, entstehen durch Mischung der drei Grundfarben. Durch das Prisma können immer nur Strahlen verschiedener Brechbarkeit von einander getrennt bleiben, daher muß Licht, welches aus Strahlen von verschiedener Farbe, aber von gleichem Grade der Brechbarkeit besteht, wenn es anders solches Licht gibt, bei der Analyse durch ein Prisma als unzerlegbar, also einfach (homogen) erscheinen. Die Zerlegung solchen Lichtes kann aber bewirkt werden, indem gefärbte Mittel die verschiedenfarbigen Strahlen in verschiedenem Grade absorbiren .... (†). Demnach muß (im Sinne Newton's) homogenes, d. i. nur Strahlen von einerlei Brechbarkeit enthaltendes Licht beim Durchgange durch farbige Mittel (nach Brewster) zuweilen Aenderungen seiner Farbe erleiden, während nach der Newton'schen Theorie homogenes Licht, wenn es durch farbige Mittel geht, wohl geschwächt oder ausgelöscht, nie aber in seiner Farbe verändert werden kann.

Helmholz kam durch sorgfältige Wiederholung und Abänderung der wichtigsten jener Versuche, welche Brewster zur obigen Ansicht (†) führten, so wie durch neue eigene Versuche zu dem Resultate, daß zwar die Thatsachen, aus welchen Brewster seine Ansicht abstrahirte, nicht so aber ihre Deutung richtig sei, indem er (Brewster) mehrere Umstände unbeachtet ließ, durch welche bei seinen Untersuchungen die richtige Beurtheilung der Farben bedingt war, so daß den Thatsachen, die Brewster als Gründe der Widerlegung des bisher allgemein angenommenen Zusammenhanges zwischen dem Grade der Brechbarkeit und der Farbe des Lichtes ansah, die hinlängliche Beweiskraft fehlt. (Pogg. Ann. 1852, Nr. 8, S. 501.)

Was die Brewster'sche (auch früher schon von andern Forschern gemachte) Annahme von drei Grundfarben (Roth, Gelb, Blau) anbelangt, aus denen alle andern combinirt sind, oder wenigstens combinirt werden können, so hat Helmholz durch eine andere Reihe von Untersuchungen (Pogg. An. 1852, Nr. 9, S. 45) gezeigt, daß diese Annahme aus Resultaten der Mischung von Farbestoffen hervorgegangen ist, daß aber eine solche Mischung durchaus nicht eine einfache Zusammensetzung farbigen Lichtes hervorbringen könne. Helmholz hat daher die Ansicht der Grundfarben durch unmittelbare Zusammensetzung der Spektrumfarben selbst einer Prüfung unterzogen und dabei unter andern Ergebnissen gefunden, daß gelbes Licht, mit indigblauem vereinigt, nicht Grün, sondern Weiß gibt (ja, daß die besagte gelbe und blaue Farbe die einzigen der Farben des Spektrums sind, welche zusammen reines Weiß geben, also Complementärfarben sind), daß also die drei Farben Roth, Gelb und Blau kein Grün zusammensetzen können und daher sich nicht, wie es Brewster gethan, als Grundfarben betrachten lassen.

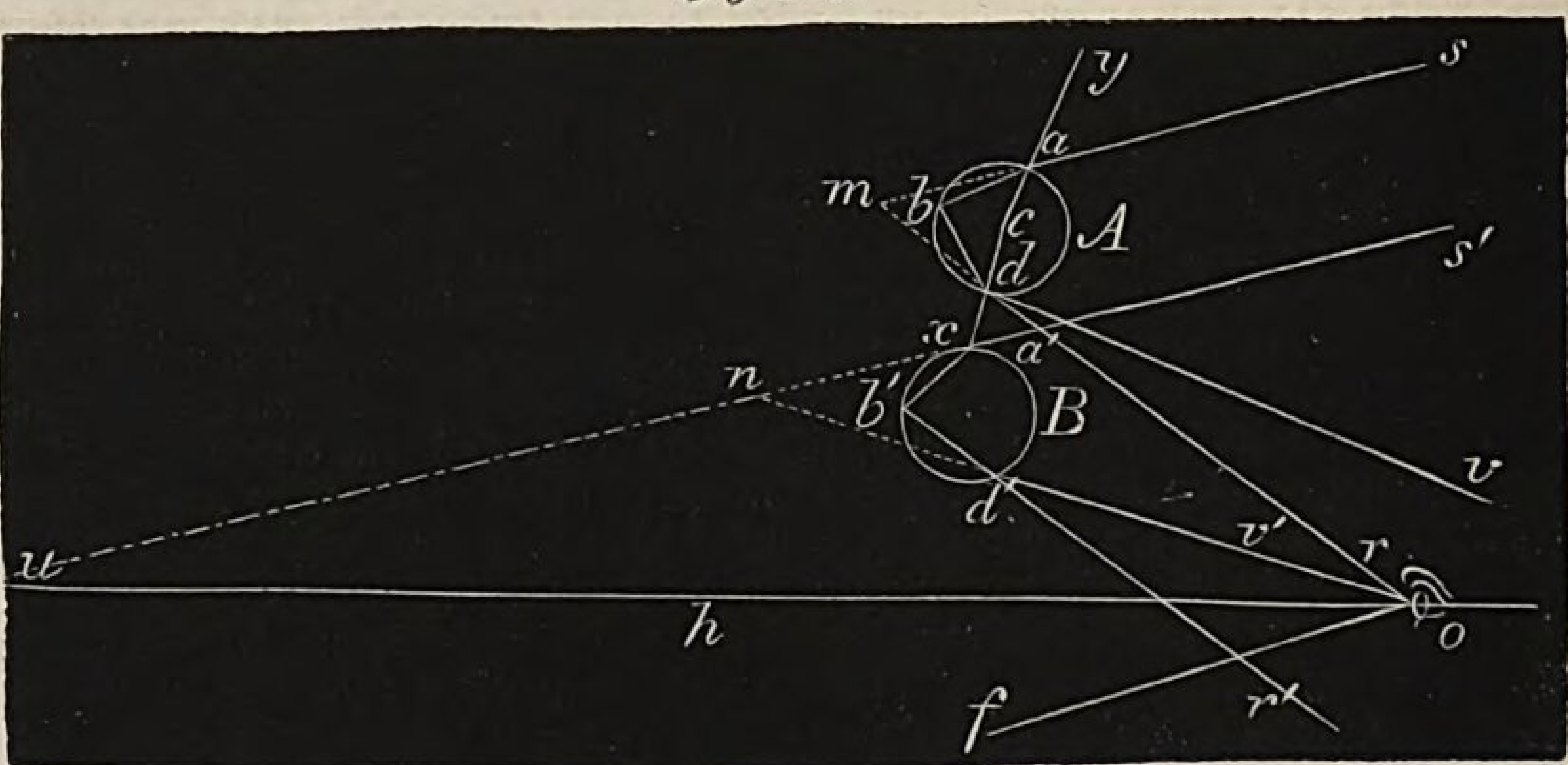
Um durch Zusammensetzung des von Pigmenten kommenden Lichtes Mischfarben (z. B. aus complementär gefärbten Pigmenten Weiß) zu erhalten, welche nicht das graue Ansehen haben, wie die durch Farbenscheiben erzeugten, sondern an Reinheit den bei Zusammensetzung ähnlicher prismatischer Farben entstehenden sehr nahe kommen, empfiehlt Helmholz folgendes Verfahren. Man stelle eine Glasplatte mit ebenen und parallelen Flächen senkrecht auf einem Tische auf und lege vor ihr eine gefärbte Oblate hin. Diese sieht man in der Glasplatte gespiegelt

und der scheinbare Ort ihres Spiegelbildes ist jenseits der Platte und ebenfalls auf der Oberfläche des Tisches. Man kann nun genau an dieselbe Stelle, wo sich scheinbar die gespiegelte Oblate befindet, eine andere eben so große, aber anders gefärbte, hinlegen, welche der Beobachter durch die Glasplatte hindurch sieht. Sein Auge wird dann von zweierlei Strahlen getroffen, welche beide von ganz demselben Körper auszugehen scheinen, die einen dem durchgegangenen, die andern dem gespiegelten Lichte angehörig. Es erscheint ihm deshalb eine Oblate, deren Farbe aus denen der beiden wirklich vorhandenen Oblaten zusammengesetzt ist.

Auf der eben besprochenen Farbenzerstreuung beruhen unter andern auch die folgenden Erscheinungen. 1. **Ein weißer Gegenstand erscheint, durch ein Prisma betrachtet, nach der auf die Kanten des letzteren senkrechten Richtung mit farbigen Rändern versehen.** Wenn ein weißer Punkt durch ein dreiseitiges Prisma angesehen wird, so gibt jeder einfache (farbige) Theil des von ihm ausgehenden weißen Lichtes ein farbiges Bild desselben. Alle diese Bilder erscheinen der ungleichen Brechbarkeit der ungleichartigen Strahlen wegen von einander abgesondert und in der Ordnung, welche ihre Farben im Spektrum einnehmen. Wenn man nun anstatt eines einzigen solchen Punktes deren mehrere, in der auf die Prismakanten senkrechten Richtung neben einander liegende betrachtet, wie dies beim Ansehen eines weißen Gegenstandes der Fall ist, so bringt auch jetzt noch jeder derselben ein Farbenbild hervor; diese Farbenbilder fallen aber zum Theil über einander, es entsteht an den Stellen, wo sie sich vermischen, Weiß, während nach der vorher bezeichneten Richtung die äußersten Farben übrig bleiben.

2. **Die Erscheinung des Regenbogens.** Bekanntlich zeigt sich dieses Meteor in Gestalt eines, in den prismatischen Farben glänzenden Bogens. Es entsteht nur bei gleichzeitigem Regen und Sonnenschein und zwar in jenen Regenwolken, die von der Sonne beschienen werden und dem Auge des Beobachters gegenüber stehen. Von den prismatischen Farben erscheint Violet an der innern, hohlen, und Roth an der äußeren, convexen Seite. Sind diese Farben recht lebhaft, so bemerkt man nicht selten einen zweiten Regenbogen von größerem Halbmesser als jener des ersteren ist; seine Farben sind minder lebhaft und folgen in verkehrter Ordnung auf einander, so daß das Roth die innere und das Violet die äußere Farbe bildet. Manchmal zeigen sich nur Stücke eines Regenbogens, sogenannte **Regengallen**. Der Regenbogen entsteht durch Brechung und Farbenzerstreuung, welche das Sonnenlicht in den Regentropfen erfährt, und man sieht ihn auch in einer Art künstlichen Regens entstehen, welchen die Springbrunnen und Wasserfälle, insbesondere wenn es windig ist, verbreiten. Eine nähere Einsicht in die Ursache dieses herrlichen Phänomens wird uns Nachstehendes geben. Es stelle in Fig. 573 A einen Regentropfen und s a einen auf denselben fallenden Sonnenstrahl vor. Dieser wird im Tropfen zum Einfallslothe c a, etwa nach der Richtung a b ge-

Fig. 573.

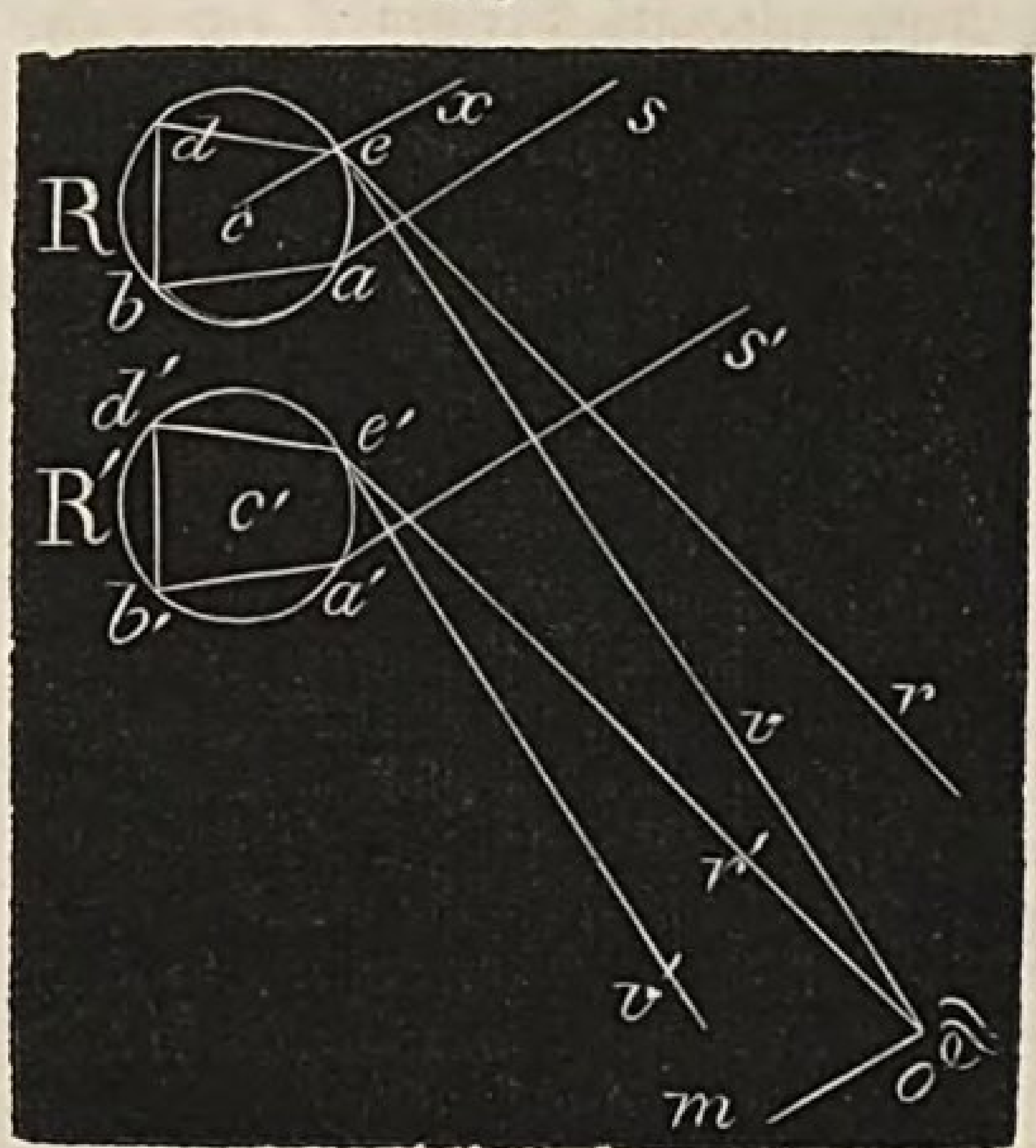


brochen, tritt bei b zum Theil aus, zum Theil wird er nach d reflektirt, und hier erfährt er wieder theilweise Zurückwerfung und theilweise Brechung. Der Theil, welcher bei b austritt und jener, der bei d reflektirt wird, bleiben als zur Erzeugung des Regenbogens nichts beitragend ganz außer Beachtung. Der bei d austretende Theil verläßt zu Folge zweimal erlittener Brechung und der mit dieser stets verbundenen Farbenzerstreuung den Tropfen, in seine farbigen Bestandtheile zerlegt, welche alle vom Einfallslothe c x und zwar der rothe Bestandtheil am wenigsten und der violete am stärksten abgelenkt (gebrochen) werden, so daß, wenn ersterer durch die Linie d r vorgestellt wird, letzterer durch d v bezeichnet werden kann. Offenbar können diese Strahlen wegen ihrer starken Divergenz nie beide zugleich ins Auge eines

Beobachters gelangen; es leuchtet aber ein, daß wenn der Tropfen A dem Auge o den rothen Antheil dr zusendet, dasselbe von einem entsprechend tiefer gelegenen Tropfen B den violeten Theil empfangen müsse, da auf diesen Tropfen gewiß auch ein zum Strahle sa paralleler Sonnenstrahl s'a' auffällt, und darin in ganz gleicher Weise gebrochen und reflektirt wird, wie der Strahl sa in A, so daß die farbigen Bestandtheile r' . . . v', in die er zerlegt wird, zu den gleichartigen farbigen Bestandtheilen des Strahles sa parallel aus B austreten und der violete Theil v' des ersteren mit dem rothen r des letzteren convergirend im Auge zusammentrifft. Ebenso ist klar, daß zwischen A und B in verschiedenen Höhen gelegene Tropfen dem Auge Strahlen der übrigen prismatischen Farben zusenden müssen (ein Tropfen zunächst unter A den rothgelben, ein noch tiefer gelegener Tropfen den gelben Strahl u. s. w.), daß das Auge in den verlängerten Richtungen aller dieser empfangenen farbigen Strahlen stetig an einander gereihte farbige Punkte, demnach eine gefärbte Linie sehen müsse, welche sich von B nach A hin erstreckt und nach dieser Richtung, vom Violet angefangen, alle prismatischen Farben in der im Spektrum stattfindenden Folge enthält. Ist of eine zu sa parallele Gerade, und man denkt sich um diese die ganze Figur gedreht, so beschreiben die Winkel fod' und fod Kegelflächen. Alle in der ersten Kegelfläche liegenden Regentropfen senden offenbar dem Auge, da sie gegen dasselbe die nämliche Lage haben wie der Tropfen B, gleich diesem violetes Licht zu, während es aus dem nämlichen Grunde von den Regentropfen, die in der vom Winkel fod beschriebenen Kegelfläche liegen, rothes Licht empfängt. Das Auge, welches sich in der Spitze dieser Kegel befindet, müßte daher einen ganzen violeten Kreis, einen mit ihm concentrischen rothen Kreis von größerem Halbmesser und wie man nun von selbst einsieht, zwischen beiden concentrische Kreise der übrigen prismatischen Farben sehen, wenn alle diese Kreise nicht durch den Horizont oh unterbrochen würden. Dieser Unterbrechung wegen kann es nur Stücke dieser Kreise, also nur einen über den Horizont hin gespannten prismatisch gefärbten Bogen sehen. Begreiflicher Weise muß, soll das ins Auge kommende farbige Licht stark genug sein, um eine deutliche, ja überhaupt eine Wahrnehmung des Phänomens bewirken zu können, jeder Tropfen einen B ü n d e l paralleler Strahlen der nämlichen Farbe (der Tropfen B ein Bündel paralleler violeter, der Tropfen A ein Bündel paralleler rother Strahlen u. s. w.) dem Auge zusenden . . . (1); es muß also auch auf jeden der Tropfen an der Stelle eines einzigen Sonnenstrahles (z. B. des Strahles sa) ein B ü n d e l paralleler Sonnenstrahlen unter einem solchen Winkel say auffallen, daß die eben ausgesprochene Bedingung (1) erfüllt wird. Berechnet man diesen Winkel, so findet man ihn $= 54^0\,25'$. Ist aber der erforderliche Einfallswinkel für jedes der in die einzelnen Tropfen eintretenden Sonnenstrahlen-Bündel $54^0\,25'$; so findet man durch Rechnung den Winkel smo (oder mof) für das rothe Licht $42^0\,2'$, den Winkel s'no (oder nof) für das violete Licht $= 40^0\,16'$, und die Größen der betreffenden Winkel für die zwischen A und B gelegenen Tropfen, welche die andern prismatischen Farben ins Auge schicken, liegen zwischen diesen Werthen. Demnach betrüge, wäre die Sonne ein einziger leuchtender Punkt, der Winkel dod', unter welchem die Breite des Regenbogens dem Auge erscheint, $42^0\,2' - 40^0\,16'$ d. i. $1^0\,46'$. Da aber die Sonne selbst eine Breite (einen Durchmesser) von $30'$ hat, so beträgt die scheinbare Breite des Regenbogens $1^0\,46' + 30'$ d. i. $2^0\,16'$. Da nach dem Vorhergehenden das Auge sich in der Spitze der Kegel befindet, in deren Flächen die concentrischen farbigen Theile des Regenbogens liegen, und da die Linie of parallel mit sa oder s'a' ist; so erhellt, daß die Höhe des sichtbaren Regenbogenstückes durch den Winkel doh = dof — foh bestimmt werde, und daß, da foh die Höhe s'uo = H der Sonne über dem Horizonte gleich ist und dof (= smo) $42^0 2'$ beträgt, mithin die Gleichung $doh = 42^0\,2' - H$ . . (2) besteht, man nur so lange einen Regenbogen sieht, als die Sonnenhöhe kleiner ist als $42^0\,2'$. Nach Gleichung (2) folgt weiter, daß die Höhe des sichtbaren Regenbogens mit Abnahme der Sonnenhöhe zunimmt, aber selbst beim Sonnenauf- oder Sonnenuntergange, wo $H = 0$ ist, die Größe von $42^0\,2'$ nicht übersteigen kann. Nur auf bedeutenderen Höhen, z. B. auf hohen Bergen, sieht man größere Regenbogenstücke und würde einen ganzen Regenkreis erblicken, wenn das Auge $42^0\,2'$ unter den Horizont hinabsehen könnte. Bei Wasserfällen und Springbrunnen, wo die das Phänomen des Regenbogens im Kleinen darstellende Wassertropfenschichte dem Auge sehr nahe sich befindet, ist dies häufig wirklich der Fall. Endlich ersieht man aus dem Vorhergehenden, daß, da das den Regenbogen beobachtende Auge sich immer zwischen der Sonne und dem Centrum des Regenbogens befindet, jeder Beobachter seinen eigenen Regenbogen hat.

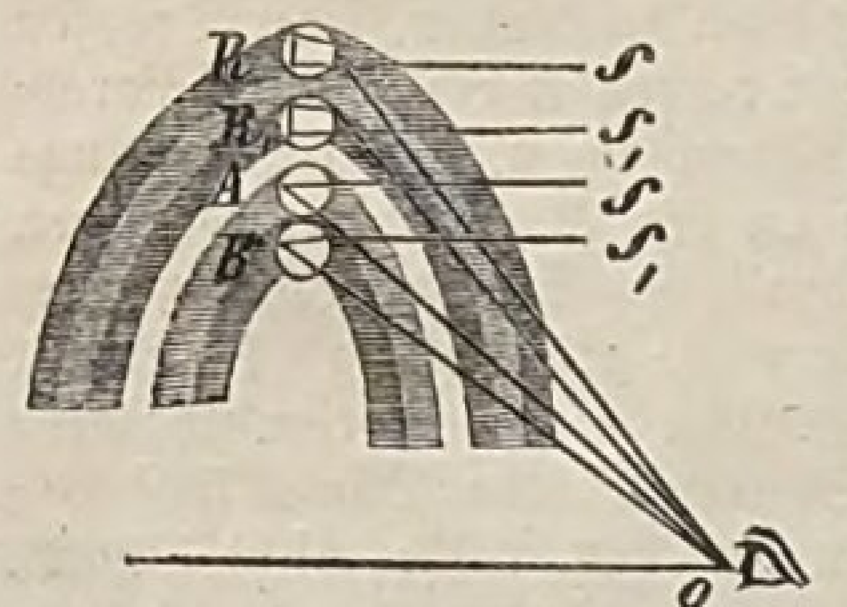
Der zweite Regenbogen, den man in Bezug zu dem jetzt besprochenen sogenannten H a u p t r e g e n b o g e n, den N e b e n r e g e n b o g e n nennt, und von dem wir vorn gesagt haben, daß er sich oft über dem ersteren und mit umgekehrter Anordnung der prismatischen Farben zeige, entsteht auf ähnliche Art wie dieser; nur erfahren die Sonnenstrahlen in den Regentropfen eine zweimalige Reflexion. Das Nähere wird mit Hilfe der Figur 574 verständ-

Fig. 574.



lich werden. Ist R ein Regentropfen und fällt auf denselben ein Sonnenstrahl sa so auf, daß derselbe darin den Weg abde nimmt: so tritt er, in seine farbigen Bestandtheile zerlegt, bei e derart aus, daß der violete Theil, welcher die größte Ablenkung vom Einfallslothe cx erfährt, nach v und der am wenigsten brechbare rothe Strahl nach r geht. Ganz Gleiches findet bei dem zweiten Tropfen R′ statt; der violete Antheil des bei e′ aus dem Tropfen wieder austretenden Strahles s′a′ nimmt den Weg nach v′ und der rothe nach r′. Haben diese Tropfen gegen einander eine gehörige Lage und fallen auf sie die Strahlen oder vielmehr Strahlenbündel sa und s′a′ unter entsprechendem Winkel auf, so empfängt das Auge o von dem Tropfen R ein violetes, von R′ ein rothes Strahlenbündel, und von Tropfen, die zwischen R und R′ gelegen sind, Bündel der übrigen prismatischen Farben. Bedenkt man nebstdem, daß sich ganz so wie die eben besprochenen Tropfen gegen das Auge o alle Tropfen verhalten, welche in den Flächen der Kegel liegen, die durch Rotiren der Figur 574 um die mit sa oder s′a′ parallele Linie om entstehend gedacht werden können; so leuchtet ein, daß das Auge o einen prismatisch gefärbten Bogen sehen werde, bei welchem das Violet die obere convere und das Roth die untere concave Grenze bildet. Die Rechnung zeigt wieder, daß der Winkel eom (für das violete Licht) 54° 9′ und der Winkel e′om (fürs rothe Licht) 50° 59′ betrage, woraus folgt, daß der Nebenregenbogen sich immer über dem Hauptregenbogen befindet, daß er mit Rücksicht auf den scheinbaren Sonnendurchmesser eine Breite von 3° 40′ hat und daß die beiden rothen Theile des Haupt- und Nebenregenbogens um 50° 59′ — 42° 2′ d. i. um 8° 57′ von einander abstehen. Zu vollständiger Versinnlichung des Wesens beider Regenbögen mag die Figur 575 dienen, die wohl keiner weiteren Erklärung bedarf. Die sogenannten Regengallen, d. h. Stücke des einen oder des andern Regenbogens, entstehen, wenn die regnende Wolke zu wenig ausgedehnt ist, als daß ein vollständiger Regenbogen entstehen könnte.

Fig. 575.



299. Natürliche (objective) Farben der Körper. Da durch das Vorhergehende unwiderleglich dargethan ist, daß jeder Lichtstrahl von bestimmter Brechbarkeit eine besondere farbige Eigenschaft (das Vermögen die Empfindung einer eigenen Farbe hervorzurufen) besitzt, und da die Körper nur durch das Licht sichtbar werden, welches sie dem Auge zusenden; so erhellt von selbst, daß durch die Beschaffenheit dieses Lichtes auch im Allgemeinen die natürlichen Farben bestimmt werden, welche die Körper zeigen. Ein Körper erscheint weiß, wenn er Strahlen von allen Graden der Brechbarkeit und in dem nämlichen Mischungsverhältnisse, in welchem sie im Sonnenlichte vorhanden sind, dem Auge zusendet; er erscheint schwarz, wenn er von keinem der farbigen Strahlen so viel ins Auge sendet, daß ein zur Wahrnehmung hinreichend starker Eindruck hervorgebracht werden kann. Körper, die nicht von allen farbigen Strahlengattungen, sondern nur von einer oder einigen die zur Wahrnehmung erforderliche Menge ins Auge schicken, zeigen im ersten Falle die Farbe dieser einen Strahlengattung und im letzteren eine Farbe, wie sie aus der Zusammensetzung der Eindrücke der betreffenden verschiedenfarbigen Strahlengattungen hervorgeht. Fast alle Farben der Körper entstehen durch solche Zusammensetzungen verschiedenartiger Farbeneindrücke, weil fast kein Körper nur eine einzige farbige Strahlengattung, sondern deren immer mehrere dem Auge zusendet. Daß ein Körper durch zerstreut reflektirtes Licht von einer bestimmten z. B. von rother Farbe erscheint, oder ein durchsichtiger Körper die durch ihn angesehenen weißen Gegenstände stets in einer gewissen z. B. der blauen Farbe zeigt, kömmt

nicht etwa daher, weil ersterer Körper nur allein das rothe Licht zu reflektiren und letzterer nur allein das blaue Licht durchzulassen vermag, sondern hat seinen Grund darin, daß zwar jeder Körper jede farbige Strahlengattung zurückwerfen und, falls er durchsichtig ist, durchlassen kann, daß aber ein durch zerstreut reflektirtes Licht, z. B. gelb erscheinender Körper vorzugsweise die gelben Strahlen zu reflektiren oder ein durchsichtiger, im durchgelassenen Lichte die Gegenstände z. B. stets blau zeigender Körper, vorzugsweise blaues Licht durchzulassen die Eigenschaft hat, was daraus hervorgeht, daß ersterer Körper in jedem Theile des Spektrums immer wenigstens einen Schein der Farbe des betreffenden Theiles zeigt, im rothen Theile aber noch röther, als je erscheint, und daß man, durch letzteren Körper das Spektrum betrachtend, den blauen Theil desselben am stärksten und reinsten, aber auch die andern Theile mehr weniger hell und deutlich in den ihnen eigenthümlichen Farben sieht. Wenn manche farbige Körper in einer oder der andern Farbe des Spektrums fast ganz schwarz erscheinen oder beim Durchsehen durch dieselben gewisse Spektrum-Farben nahe schwarz zeigen, so ist der Grund hievon nur darin zu suchen, daß in dem einen Falle die reflektirte und im andern die durchgelassene Menge der betreffenden farbigen Strahlen zu gering für die Anregung einer Lichtempfindung ist. Uebrigens beobachten die durchsichtigen Körper in Bezug auf das Licht, welches sie durchlassen, ein merkwürdiges Verhalten, dem zu Folge sie in zwei Klassen eingetheilt werden können. Bei einigen, wie z. B. bei grünem oder gelbem Glase, ist das von ihnen zerstreut reflektirte und das Licht, welches sie durchlassen, beinahe ganz gleichfarbig, während andere dieser Körper Strahlen gewisser Farbe durchlassen und Strahlen anderer Farben reflektiren. Solcher Art ist z. B. das sogenannte Knochenglas, welches im reflektirten Lichte bläulich weiß erscheint und die hindurch betrachteten weißen Gegenstände rothgelb zeigt. Aehnlich verhält sich Wasser, das einige Zeit mit Stücken von der Rinde des wilden Kastanienbaumes in Berührung gestanden ist, und welches schmutzig gelbbraun aussieht, wenn man durchschaut, hingegen an der Oberfläche violetlichblau erscheint, wenn diese durch zerstreut reflektirtes Licht sich recht hell zeigt.[1] Sehr dünne Plättchen aus echtem Golde reflektiren vorzüglich gelbes und rothes Licht, während sie grünes hindurchlassen; daher sie im reflektirten Lichte röthlichgelb, im durchgelassenen hingegen grün aussehen. Daß in diesen Beispielen die Farbe des durchgelassenen Lichtes die complementäre zu jener des reflektirten sei und daher komme, daß die reflektirte Farbe im durchgehenden Lichte nothwendig fehlen, dieses also vorzugsweise nur aus dem die reflektirte Farbe zu Weiß ergänzenden bestehen könne, dringt sich von selbst auf. Bei andern Körpern, die im reflektirten und durchgelassenen Lichte verschiedene Farben zeigen, sind diese nicht complementär, weil sie nicht den ganzen Antheil, der im reflektirten Lichte fehlt, durchlassen, sondern auch einen Theil davon absorbiren. In dieser Absorbtion liegt auch der Grund, warum einige Körper bei verschiedener Dicke im durchgelassenen Lichte verschiedene Farben zeigen. (Wir werden später an einem andern Orte auf die Absorbtion des Lichtes ausführlicher zurückkommen, und auch erst dann zum Theil schon hierher gehörige, vorzüglich durch Stockes bekannt gewordene, ganz eigenthümliche Erscheinen näher besprechen). Ein auffallendes Beispiel hievon ist eine Auflösung von Saftgrün, welche in dünner Schichte grün, in dicker hingegen dunkelroth erscheint. Dieser Körper läßt nämlich von den grünen Strahlen nur einen verhältnißmäßig geringen Antheil, die dunkelrothen Strahlen hingegen fast alle durch. Das Sonnenlicht enthält nur wenige dunkelrothe, jedoch viele grüne Strahlen, daher bei einer dünnen Schichte, wenn auch jene rothen alle und von den grünen nur wenige durchgehen, die letzteren doch vorherrschend bleiben. Mit Zunahme der Dicke der Schichte hingegen wird die unvollkommene Durchlassung der grünen Strahlen immer merklicher und die rothen werden endlich, obgleich ihrer weniger waren, überwiegend, weil sie fast

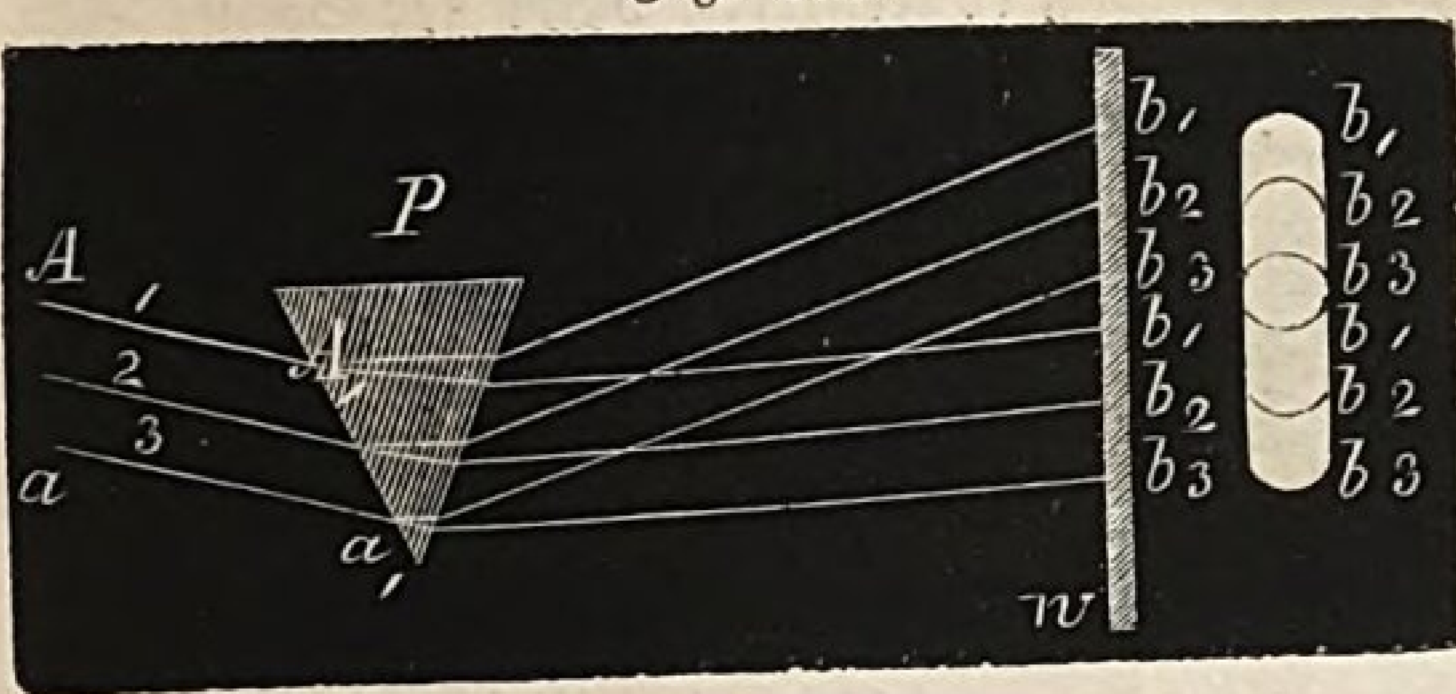
ohne Verlust durchgehen. Schließlich soll hier in Kürze noch des doppelten Farbenspiels gedacht werden, welches einige Körper zeigen. Der Opal z. B. erscheint im zurückgeworfenen Lichte, je nach Verschiedenheit seiner Lage gegen das einfallende Licht und das Auge, bald blau bald orange, und es ist die Ursache hievon sicherlich die Zurückwerfung des blauen und die Durchlassung des gelblichen Lichtes. Indem nämlich die durch den Körper durchgehenden Strahlen an den Schichten im Innern und an seiner Rückfläche reflektirt werden, kommen sie als orange zu dem vor der erleuchteten Fläche befindlichen Auge zurück. Dem Opale ähnlich verhalten sich auch manche andere feste Körper und gewisse Flüssigkeitsgemische.

In der verschiedenen Farbe der von der Luft reflektirten und durchgelassenen Strahlen liegt die Ursache der blauen Farbe des Himmels, der Morgen- und Abendröthe und der Dämmerung. Trockene, sehr wenig Wasserdunst enthaltende Luft reflektirt vorzugsweise blaue und violete Strahlen und erscheint daher in dunkelblauer Farbe, welche in größeren Höhen z. B. auf Bergen sich deswegen immer dunkler zeigt, weil bei der geringen Menge Lichtes, die dort von der dünnen Luft reflektirt wird, das Uebergewicht der blauen und violeten Strahlen über die andern zurückgeworfenen mehr hervortritt. Da in sehr großen Höhen auch die Menge des blauen und violeten Lichtes nothwendig so klein wird, daß ihr Eindruck auf das Auge zur Anregung einer Lichtempfindung zu schwach ist; so muß in solchen Höhen der Himmel ganz schwarz erscheinen. — Wenn die Sonne (am Tage) hoch steht, erscheint sie uns, obgleich ihre Strahlen beim Durchgange durch die Atmosphäre, zu Folge Reflexion, etwas blaues Licht verlieren, weiß, weil dieser Verlust doch immer nur einen sehr kleinen Antheil des gesammten Sonnenlichtes ausmacht, also im durchgelassenen Lichte auch nur ein wenig merklicher Ueberschuß des complementären rothgelben und gelben Lichtes vorhanden sein kann. Beim Auf- oder Untergange der Sonne aber erfährt ihr Licht, welches da so weit durch dichtere Luftschichten geht, durch Reflexion und Absorbtion eine so große Schwächung, daß in dem durchgelassenen Theil der schon oben erwähnte Ueberschuß an (zum reflektirten blauen und violeten complementären) rothgelbem und gelbem Lichte merklich hervortritt, und uns demnach die Sonne, so wie die von ihr beleuchteten, in der Luft am Horizonte nie fehlenden Dünste und etwa die vorhandenen Wolken in den letztgenannten Farben erscheinen, in welcher Erscheinung das Wesen der Morgen- und Abendröthe besteht. Ist die Luft sehr feucht, so erscheint der Himmel weißlich, weil die von den Dünsten zahlreich zurückgeworfenen weißen Strahlen die von der Luft in verhältnißmäßig geringer Menge reflektirten blauen weit überwiegen. Zu solcher Zeit ist auch die Abend- und Morgenröthe weißlich oder wenigstens hellgelb, weil die Dünste ebenfalls weißes Licht durchlassen und dieses das durch die Luft durchgehende rothgelbe Licht wieder überwiegt. Auf ganz ähnliche Weise erklärt sich die Jedermann bekannte Erscheinung der Dämmerung. Sie besteht in einer eigenthümlichen Helligkeit und Färbung der, der Sonne vor ihrem Auf- oder nach ihrem Untergange gegenüberliegenden Himmelsgegend (Morgendämmerung, Abenddämmerung). Man sieht da einen bogenförmig begrenzten blauen Raum, darüber ein mattes Roth, welches in größerer Höhe in Weiß übergeht, und erst noch höher (gegen das Zenith) hinauf hat der Himmel seine gewöhnliche blaue Farbe. Der dunkelblaue Kreisabschnitt ist der Schatten, den die Erde auf die Atmosphäre wirft und der deswegen blau erscheint, weil er von der Zenithgegend her blaues Licht empfängt. Natürlich kann nur der nicht beschattete, über diesen Kreisabschnitt gelegene Theil der Atmosphäre von den durch die Luft über den Horizont heraufkommenden rothgelben Sonnenstrahlen beleuchtet werden und erscheint daher in dieser Farbe. Das an das Rothgelbe angrenzende Weiß kömmt daher, daß dort wo es sich zeigt, die blauen Strahlen, welche von der Zenithgegend, und die rothgelben Strahlen, welche von den im orange gefärbten Theile der Atmosphäre immer noch vorhandenen Dünsten reflektirt werden, zusammen kommen, mithin das Auge von dorther complementäre (in der Mischung Weiß darstellende) Farbenstrahlen empfängt. Das Blau gegen das Zenith endlich ist die natürliche, durch Reflexion der blauen Theile der dahin gelangenden Sonnenstrahlen entstehende Farbe des Himmels, welche rein und unvermischt ins Auge kömmt, weil die Richtung, nach welcher wir sie sehen, so wenig durch die Region der Dünste geht, daß die von diesen reflektirten rothgelben Strahlen nur einen sehr geringen Antheil der von der Zenithgegend zurückgeworfenen blauen Strahlen, indem sie sich mit denselben zu Weiß mischen, aufheben können.

300. Ungleichartigkeit in den Farben des Spektrums. Dunkle Linien in den letzteren. Die Farben des Spektrums, wie es mittelst eines Prismas auf die in **297** beschriebene Art erhalten wird, sind nicht homogen, d. h. der roth erscheinende Theil desselben enthält nicht bloß rothes, der gelb er-

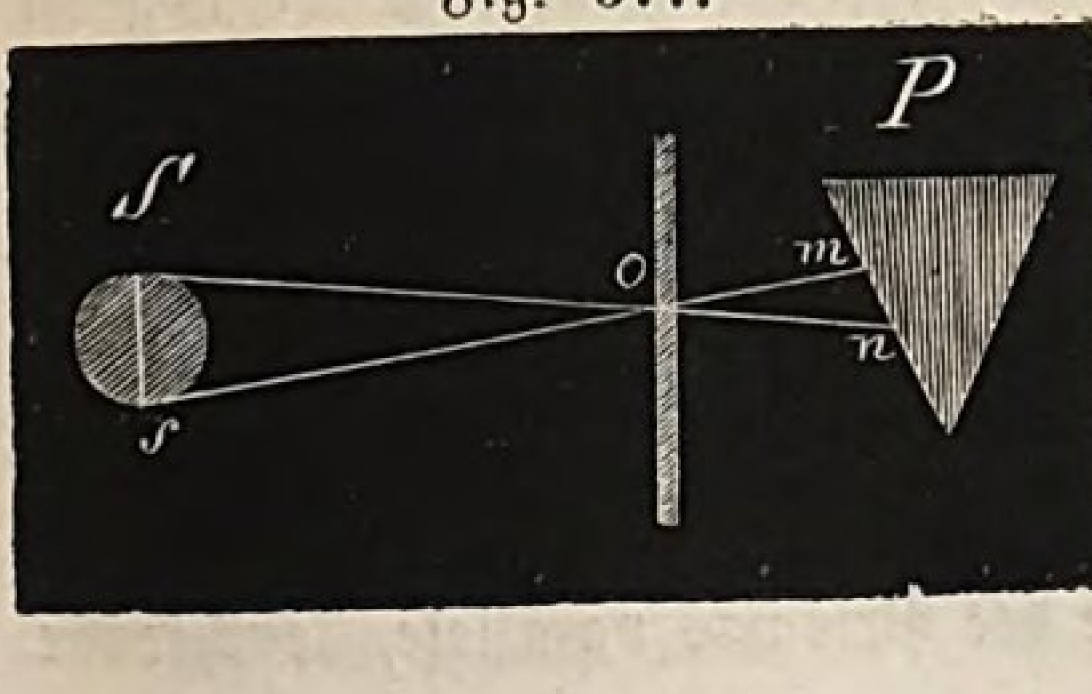
scheinende nicht bloß gelbes Licht u. s. w., sondern jeder solche Theil wird auch von Strahlen anderer Farbe z. B. der rothe auch von gelben, violeten u. s. w. Strahlen beleuchtet, so daß er nur deswegen von der bestimmten Farbe (z. B. roth oder blau u. s. w.) erscheint, weil die Strahlen dieser Farbe (der rothen oder blauen u. s. w.) darin bei weitem vorwalten, und daß mithin keine der prismatischen Farben des Spektrums vollkommen rein (homogen) ist. Die Ursache hiervon liegt in dem Umstande, daß durch eine noch so kleine Oeffnung im Fensterladen des verfinsterten Zimmers nie blos ein einziger mathematischer Strahl, sondern immer ein ganzes Bündel paralleler Strahlen auf das Prisma gelangt, daß jeder dieser Strahlen, durch das Prisma zerlegt, ein Farbenbild gibt und daß alle diese Farbenbilder sich theilweise über einander lagern und decken. Sind nämlich in Fig. 576 **1**, **2**, **3** u. s. w. einzelne Strahlen des besagten Bündels $\mathbf{A A_1}$ $\mathbf{a a_1}$, so entstehen durch Zerlegung derselben im Prisma **P** auf der Tafel **w** die Farbenbilder $\mathbf{b_1 b_1}$, $\mathbf{b_2 b_2}$ und $\mathbf{b_3 b_3}$ u. s. w., und es fällt daher z. B. der violete Theil des ersten mit dem von gelben und grünen Strahlen beleuchteten Theil des zweiten und der rothe Theil dieses letzteren mit dem gelben und grünen Theile des dritten Farbenbildes u. s. w. zusammen. Da natürlich das Nämliche, wie mit den Strahlen 1, 2, 3, auch mit allen andern zwischen diesen gelegenen unendlich vielen Strahlen vorgeht, so besteht offenbar das auf der Wand aufgefangene Farbenbild aus unendlich vielen, theilweise in einander fallenden und sich mischenden Farbenbildern, und keine Farbe desselben kann rein (homogen) sein. Man sieht aber auch zugleich ein, daß das gemischte Spektrum desto weniger unrein sein müsse, 1.) je weniger solche in einander fallende, sich mischende Farbenbilder vorhanden sind, je kleiner also die Dicke (in der Richtung von **A** nach **a**) des auf das Prisma gelangenden Strahlenbündels ist, und 2.) in einer je größeren Entfernung vom Prisma des Spectrums mit der Tafel **w** aufgefangen wird. Der Punkt 2.) wird klar, wenn man bedenkt, daß die Vergrößerung dieser Entfernung die nämliche Wirkung wie die Verkleinerung der Dicke des Strahlenbündels hat; denn da jede Farbe immer einerlei Raum auf der Tafel einnimmt, so verbreitet sich das ganze Spektrum, indem es von divergirenden Strahlen gebildet wird, auf der Tafel über einen desto größeren Raum, je weiter diese entfernt wird, und es müssen daher die einzelnen Farben immer mehr auseinander rücken und von einander getrennt werden. Bei unendlich großer Entfernung der Tafel vom Prisma würde offenbar die aus der Dicke des auffallenden Lichtbündels entspringende Unreinheit und Ungleichartigkeit der Farben des Spektrums ganz wegfallen.

Fig. 576.



Es ist aber noch eine andere Quelle des Mangels an Gleichartigkeit und Reinheit in den prismatischen Farben der scheinbare Durchmesser der Sonne oder jedes anderen dem Prisma das Licht zusendenden leuchtenden Körpers, und diese Quelle besteht, wie sehr man auch die Oeffnung, durch die das Strahlenbündel aufs Prisma fällt, mithin auch die Dicke dieses Bündels verkleinern mag. Den ist **S s** (Fig. 577) der scheinbare Durchmesser der Sonne und **o** die Oeffnung im Fensterladen des verfinsterten Zimmers, durch welche das Sonnenlicht auf das Prisma **P** gelangt, so würde, selbst wenn **o** unendlich klein wäre, nie bloß ein einziger dünner Strahl,

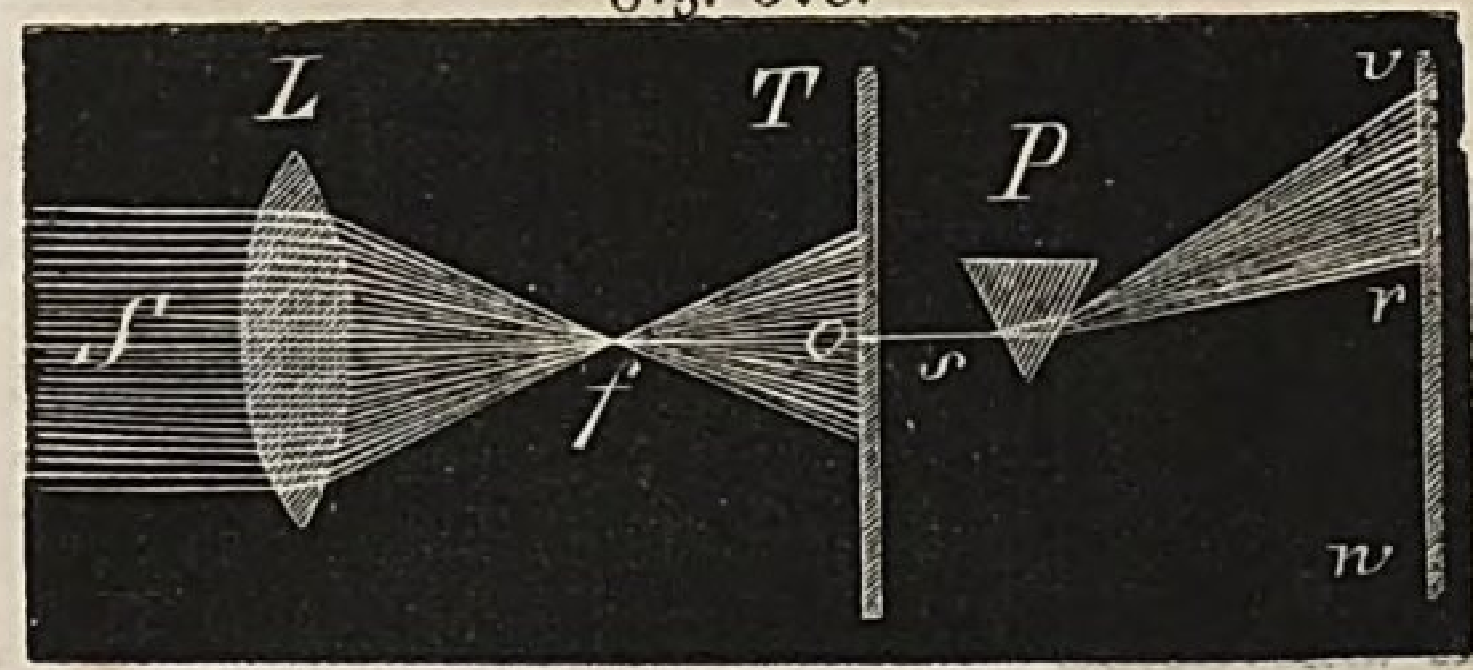
Fig. 577.



sondern ebenfalls, wie im vorigen Falle, immer ein Strahlenbündel **omn** aufs Prisma gelangen, welcher durch Kreuzung der von den verschieden hoch gelegenen leuchtenden Punkten der Sonne ausgehenden Strahlen in der Oeffnung **o** entsteht, und dessen, wenn gleich divergirende Strahlen offenbar durch das Prisma eben so in, einander zum Theil deckende Farbenbilder zerlegt werden, wie das früher betrachtete Bündel paralleler Strahlen.

Das einfachste Mittel, den nachtheiligen Einfluß, welchen die Ausdehnung der Oeffnung im Fensterladen und jene der Sonne auf die Reinheit der Farben des Spektrums nimmt, möglichst zu vermindern, besteht darin, daß man, wie dies die Fig. 578 anschaulich macht, die Sonnenstrahlen **S** durch eine Sammellinse **L** (worüber in einem der nächsten Absätze das Nähere folgen wird) concentrirt, dann der Sonne selbst ihr so erzeugtes Bild **f** substituirt und die von diesem Bilde, welches (wenn eine Linse von geringer, etwa 1″ großer Brennweite angewendet wird) als ein einziger leuchtender Punkt angesehen werden kann, ausgehenden Strahlen in einiger Entfernung auf eine Tafel **T** mit sehr kleiner Oeffnung **o** fallen läßt, und den durch diese Oeffnung gehenden, sehr dünnen Strahl **s** mit dem ganz nahe hinter der Oeffnung angebrachten Prisma auffängt. Man wird so ein Spektrum **v r** von hohem Grade der Reinheit und Gleichartigkeit der Farben erhalten.

Fig. 578.



Ein reines und schärfer begrenztes Farbenbild erhält man auch dadurch, daß man in dem verfinsterten Zimmer in etwa 12′ Entfernung von der Oeffnung im Fensterladen eine Sammellinse von 6′ Brennweite, von dieser wieder 12′ entfernt eine Wand stellt, auf welcher sich dann das Bild der Fensterladenöffnung in natürlicher Größe zeigt, und nun zwischen der Wand und der Linse und zwar unmittelbar hinter der letzteren das Prisma anbringt.

Noch eine andere Ursache der unvollkommenen Reinheit der prismatischen Farben liegt endlich in dem Mangel an gehörig gleichartiger Beschaffenheit der Materialien, aus welchen die gewöhnlichen Prismen bestehen, dem zu Folge diese mehr oder weniger Streifen und Adern enthalten, die das Licht unregelmäßig zerstreuen und daher im Spektrum Strahlen mit einander mischen, die eigentlich zu verschiedenen Theilen desselben gehören. Man soll also nur Glasprismen anwenden, die von diesen Mängeln möglichst frei sind, und soll jedenfalls die Strahlen sehr nahe an der Kante des Prismas durchgehen lassen, weil sie da nur eine dünne Schichte der Materie desselben zu durchlaufen haben, mithin auch die besagten Mängel in geringerem Maße vorhanden sind. In Ermanglung fehlerfreier Prismen aus massivem Glase wende man hohle, aus dünnen und reinen ebenen Glasstücken gebildete Prismen an, die mit Wasser oder einem passenden Oele gefüllt sind.

Wurden nun bei Erzeugung eines Spektrums alle besprochenen Bedingungen der möglichsten Reinheit desselben erfüllt, ist überdies das Spektrum wegen hinreichend großem Brechungswinkel (60° und darüber) des betreffenden Prismas groß genug, um es in allen seinen einzelnen Theilen genau untersuchen zu können; so zeigt sich dasselbe, auf einer Tafel aufgefangen, oder wenn man die farbigen Strahlen direkt ins Auge gelangen läßt, keineswegs ununterbrochen, so daß, wie aus den früheren Betrachtungen folgen würde, die Farben stetig in einander übergehen, sondern es erscheint durch völlig dunkle Zwischenräume unterbrochen, und in den hellen, farbigen Theilen ist die Intensität des Lichtes äußerst ungleich. Betrachtet man daher ein Spektrum, welches entsteht, indem statt eines leuchtenden Punktes eine sehr schmale, der brechenden Kante des Prismas parallele, leuchtende

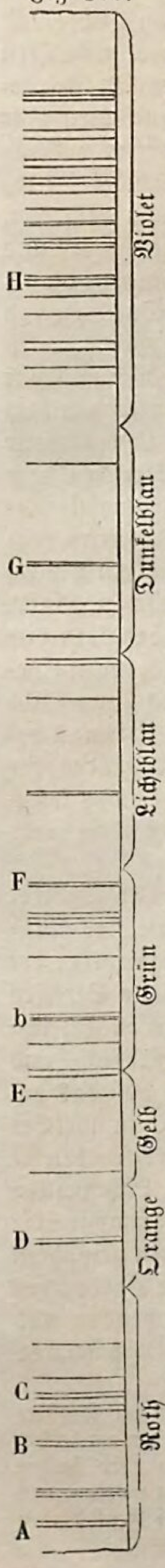
Linie dem letzteren das Licht zusendet*), (auf welche Weise man, ohne der Reinheit der Farben Abbruch zu thun, ein beträchtlich breites Spektrum erhält, da die leuchtende Linie nichts anderes ist, als eine Menge neben einander liegender leuchtender Punkte, die eben so viele neben einander liegende schmale Farbenbilder erzeugen) so hat es, anstatt als leuchtender Streifen von gleichmäßigem Lichte und stetig in einander fließenden Farben zu erscheinen, das Aussehen eines gestreiften farbigen Bandes, welches von sehr vielen, in der Richtung seiner Breite gehenden dunklen und mehreren völlig schwarzen unregelmäßig vertheilten Linien oder Streifen durchzogen ist. Bewaffnet man das Auge mit einem guten, stärker vergrößernden Fernrohre, das jedoch ein sogenanntes achromatisches (worüber später) sein und zwischen dem Auge und dem Prisma so aufgestellt werden muß, daß man, bevor letzteres an seinen Platz gebracht wird, die Lichtlinie vollkommen scharf und deutlich sieht, und daß die von dieser Linie auf das Prisma auffallenden und nach erlittener Brechung und Zerlegung aus demselben farbig austretenden Strahlen von dem Objectivglase des Fernrohrs aufgefangen werden; so erscheinen die besagten dunkeln Streifen als Gruppen dunkler Linien, so daß man im Spektrum eine große Zahl solcher Linien sehr geringer, aber verschiedener Breite und von ungleichem Grade der Dunkelheit wahrnimmt. Sie sind ein Beweis, daß die Bestandtheile eines zerlegten weißen Sonnenstrahles nicht eine stetige Reihe von Strahlen verschiedener Brechbarkeit bilden, sondern daß Strahlen von gewissen Farbenabstufungen (Graden der Brechbarkeit) abgehen, so daß die dunkeln Linien die diesen fehlenden Strahlen entsprechenden Lücken im Spektrum darstellen. Diese dunkeln Linien, die man nach ihrem Entdecker Fraunhofer die Fraunhofer'schen Linien heißt, liegen immer in den nämlichen Theilen des Spektrums und behalten dieselbe gegenseitige Ordnung und Lage, dieselbe Breite und Dunkelheit, vorausgesetzt, daß das Spektrum durch Sonnenlicht und mittelst Prismen aus der nämlichen Substanz erzeugt worden. Eine Verschiedenheit der Substanz des Prismas bewirkt zwar keine Aenderung der Anzahl, Ordnung und des Dunkelheitsgrades der Linien, oder ihrer Lage im Spektrum bezüglich der verschiedenen Farben des letzteren, ändert aber ihre gegenseitigen Abstände, worüber an einem andern Orte mehr gesagt werden wird.

So wie das Licht der Sonne, gibt auch jenes der Venus und anderer Planeten, dann des Sirius und anderer Sterne dunkle Streifen; die der Planeten sind von jenen der Sonne nur bezüglich geringerer Unterscheidbarkeit, jene der Fixsterne aber sind wesentlich verschieden. Das elektrische Licht gibt helle Streifen anstatt der schwarzen; einer derselben, durch seine Lebhaftigkeit besonders ausgezeichnet, findet sich im Grün. Auch das Licht der Lampen-, Kerzen-, Wasserstoff- und Alkohol-Flammen zeigt solche helle Streifen, welche daher kommen, daß das betreffende Licht einen Ueberschuß an Strahlen derjenigen Farbe besitzt, in welcher die hellen Streifen sich zeigen. Die in Rede stehenden Linien und Streifen beweisen auf das Sprechendste, daß das Licht der Sonne und der übrigen Lichtquellen nicht identisch sei; sie sind das sicherste Kennzeichen der Reinheit und Homogenität eines Farbenbildes, und die im Spektrum des Sonnenlichtes vorhandenen gewähren durch ihre Beständigkeit und ihre unveränderliche Lage in Bezug auf die Farben des Spektrums der praktischen Optik, vorzüglich bei Bestimmung der brechenden und farbenzerstreuenden Kräfte der verschiedenen durchsichtigen Medien, unschätzbaren

*) Eine solche Linie wird erhalten, wenn man die Sonnenstrahlen durch eine am Fensterladen angebrachte sehr enge Spalte ins verfinsterte Zimmer kommen läßt oder am besten, wenn man das Sonnenlicht auf einen zur Prismakante parallelen ganzen oder halben Glascylinder und nachdem es hinter demselben zu einer Lichtlinie vereinigt worden, von dieser aus durch eine der besagten Kante parallele, sehr enge Spalte im Fensterladen auf das Prisma leitet.

Nutzen, wie wir in der Folge sehen werden. Um, insbesondere für diese praktischen Zwecke im Sonnenspektrum feste Anhalts- und Vergleichungspunkte zu erhalten, hat Fraunhofer aus der großen Zahl der von ihm beobachteten, im Spektrum ganz unregelmäßig vertheilten dunkeln Streifen (deren man an 700 unterscheiden kann) sieben an den wichtigsten Stellen befindliche und wegen ihrer Deutlichkeit immer leicht wieder erkennbare herausgewählt und sie mit den Buchstaben **B, C, D, E, F, G, H** bezeichnet. Von diesen 7 Streifen liegt (wie Fig. 579 anschaulich macht, welche das homogene Sonnenspektrum darstellt, so wie Fraunhofer mittelst eines Prismas aus Flintglas dasselbe erhalten und die Lage der dunkeln Streifen darin durch genaue Messungen bestimmt hat) **B** im Roth unweit vom Anfange des Spektrums, **C** in derselben Farbe weiter gegen das Orange, **D** im Orange selbst und bildet eine leicht zu erkennende doppelte Linie, **E** im geben, **F** im grünen, **G** im dunkelblauen und **H** im violeten Theile. Außer den angeführten Linien gibt es noch andere sehr merkwürdige, z. B. eine dreifache Linie **b** im Grünen.

Fig. 579.



Einige leuchtende Körper senden unmittelbar homogenes Licht aus, so daß man, wenn es durch ein Prisma geleitet wird, kein, verschiedene Farben enthaltendes, sondern nur ein einfarbiges Bild erhält. So gibt stark gewässerter Weingeist ganz homogen gelbes Licht. Läßt man das Licht eines brennenden Körpers, das, durch ein Prisma zerlegt, keine dunkeln Linien zeigt, bevor es auf das Prisma gelangt, durch ein passendes farbiges Mittel, z. B. durch eine Schichte von salpetrigsaurem Gas, von Jod- oder Brom-Dampf gehen, so erscheinen zahllose dunkle Linien im Spektrum, (deren Zahl und Dichtigkeit mit der Dicke der vom Lichte durchlaufenen Schichte und bei Erhöhung der Farbe-Intensität des Mittels wächst,) was seinen Grund in der Undurchdringlichkeit dieser Mittel für Strahlen von gewissem Grade der Brechbarkeit hat, indem sie diese Strahlen absorbiren.

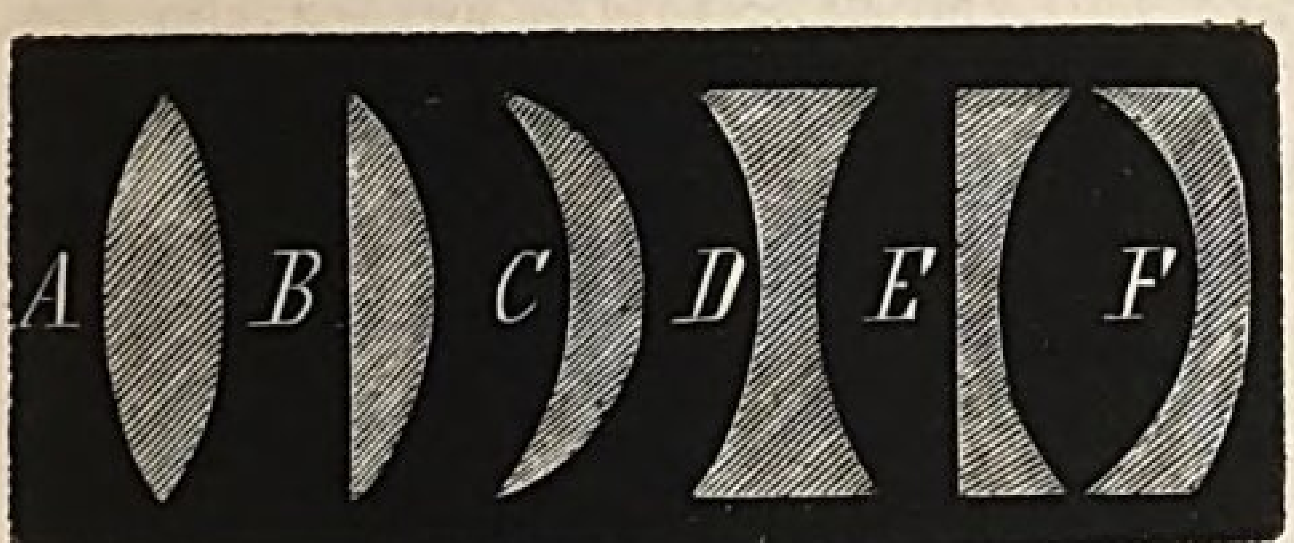
Um die Fraunhofer'schen Linien auf eine Wand zu projiciren, concentrire man die durch die Spalte im Fensterladen und das Prisma (am besten aus Flintglas) gegangenen Strahlen durch eine achromatische Linse und fange sie dann mit einem Schirm, am besten aus mattgeschliffenem Glase, auf. Man gebe dabei der Linse eine Entfernung a von der Spalte und dem Schirm von der Linse den Abstand b, so daß $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ ist, wenn f die Brennweite der Linse bedeutet. Man sieht die in Rede stehenden Linien auch mit freiem Auge, wenn man, nach Broch, das Licht durch eine sehr enge Spalte ins verfinsterte Zimmer gelangen, nahe an der der Spalte parallelen Kante des Prismas durch dieses gehen läßt und das Auge dicht hinter dem Prisma anbringt. Der Abstand des Prismas von der Spalte muß der Sehweite gleich oder nur wenig größer sein.

Man sieht im Sonnenspektrum auch longitudinale d. i. in der Richtung seiner Länge gehende Linien, sobald man nahe an der Spalte eine Linse anbringt. Die Zahl und Schärfe dieser Linien ist abhängig: von der Weite der Spalte, durch welche die Strahlen ins Zimmer gelangen, von der Entfernung und Stellung des Prismas gegen die Spalte und der Linse gegen das Prisma; vom Stande der Sonne und von der Beschaffenheit der Atmosphäre und der Wände der Spalte. Nach Wartmann und Ragona-Scina haben die longitudinalen Linien den nämlichen Urspung wie die zuerst besprochenen transversalen (Fraunhofer'schen) Linien; nach den Untersuchungen anderer Forscher hingegen sind diese Linien nicht im Lichte selbst gelegen und durchaus nicht mit der Natur des Sonnenlichtes in irgend einem Zusammenhange . . . . (†). Nach Knoblauch, Karsten, Kühn und Lamont sind sie nur Folge von Feh-

lern im Glase des Prismas, von fehlerhafter Beschaffenheit, Unreinheit und Ungenauigkeit der Schneiden der Spalte und des Spiegels, wodurch das Licht dem zerstreuenden Prisma zugeleitet wird, und Keßler hat neuestens (man sehe Pogg. Ann., Nr. 3, 1852, S. 364) in Uebereinstimmung mit dem Satze (+) dargethan, daß die in Rede stehenden Longitudinallinien bloß dadurch entstehen, daß sich die helleren und dunkleren Parthien der ganzen Gegend außer der Spalte im Spektrum abbilden. Die Linse nahe an der Spalte macht, daß die Bilder vieler helleren und dunkleren Punkte der Gegend, welche Bilder durch die Brechung des Prismas zu Linien ausgezogen werden, so ziemlich in dieselbe Entfernung vom Ocular fallen, wie die Fraunhofer'schen (transversalen) Linien, so daß man beide Bilder deutlich durchs Ocular sieht, während ohne Anwendung der besagten Linse bei der Stellung des Oculars, bei welcher man die Spalte scharf begrenzt sieht, man die Bilder der mehrere tausend Fuß entfernten helleren und dunkleren Punkte unmöglich gleichfalls sehen kann.

301. Wesen und Arten der Linsen. Linsen überhaupt heißen in der Optik durchsichtige Körper, die von, durch Umdrehung entstandenen krummen Flächen begrenzt sind, so daß deren Umdrehungsaxen in eine Linie zusammenfallen, welche dann die Axe der Linse bildet. Sind die Begrenzungsflächen Kugelabschnitte (eine ebene Begrenzungsfläche als Abschnitt einer Kugel von unendlich großem Halbmesser betrachtet), so heißen die Linsen sphärische Linsen. Nur von solchen wird hier gehandelt werden; denn nur sie werden in der Optik angewendet, weil sie die einzigen sind, die sich mit Genauigkeit leicht zu Stande bringen lassen. Sie werden in der Regel aus Glas verfertigt und man unterscheidet sechs in Fig. 580 im Durchschnitte durch die gerade, die Mittelpunkte der Krümmungen beider sphärischen Oberflächen gehende Linie dargestellte Arten, nämlich: 1) die doppelt convexe oder biconvexe Linse (**A**), die beiderseits convexe (erhabene) Flächen hat; 2) die planconvexe (**B**), die auf einer Seite eben, auf der andern convex ist; 3) die concav-convexe (**C**), woran die eine Seitenfläche concav, die andere convex und letztere stärker gekrümmt ist als erstere; 4) die doppelt-concave oder biconcave (**D**), die auf beiden Seiten concav (hohl) ist; 5) die plan-concave (**E**) mit einer ebenen und einer concaven Fläche, und endlich 6) die convex-concave (**F**), woran die eine Seitenfläche convex, die andere hohl, erstere aber weniger gekrümmt ist als letztere. Die vorher erwähnte gerade Linie, welche durch die Mittelpunkte der Krümmungen beider sphärischen Flächen, oder wenn eine eben ist, durch den Krümmungsmittelpunkt der andern geht und auf dieser senkrecht steht, heißt, wie gesagt, die Axe der Linse. Geht diese Axe zugleich durch den Mittelpunkt der Gestalt der Linse, so liegen alle Theile der letzteren symmetrisch um die Axe herum und die Linse heißt dann centrirt. Bei den folgenden Betrachtungen werden immer centrirte Linsen vorausgesetzt. In der Rechnung werden die aufgezählten Linsen-Arten durch die ihren Seitenflächen entsprechenden Gleichungen und durch die Zeichen der Krümmungshalbmesser dieser Flächen unterschieden. Gibt man dem Halbmesser einer convexen Fläche das Zeichen +, so muß der Halbmesser einer nach der nämlichen Seite gekehrten concaven Fläche das Zeichen — erhalten, weil die Mittelpunkte und mithin auch die Halbmesser der Krümmungen beider Flächen entgegengesetzte Lagen haben . . . . (I).

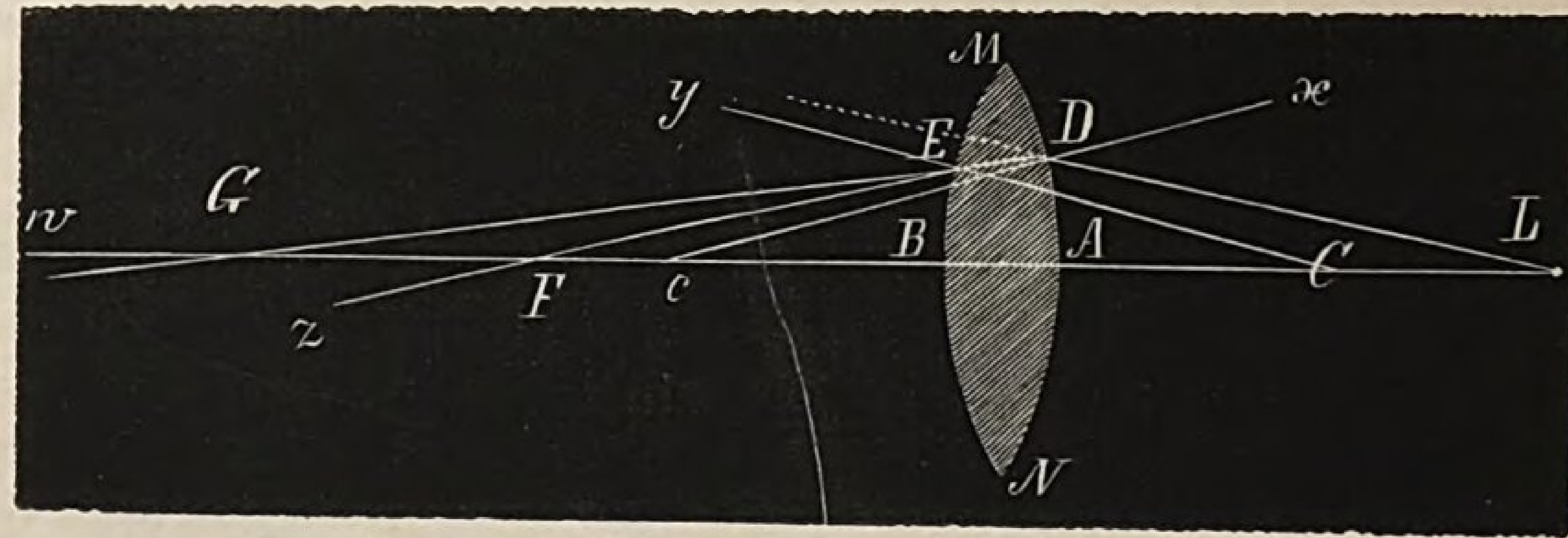
Fig. 580.



302. Brechung des Lichtes in einer doppelt convexen Linse. Es seien in Fig. 581 **MN** der Durchschnitt einer doppelt convexen Linse, **C**, **c** die Krümmungsmittelpunkte beider Flächen und **L** ein in der Axe **Lw** der Linse gelegener leuchtender Punkt. Unter den Strahlen, welche dieser Punkt der Linse zusendet, fällt gewiß auch einer mit der Axe zusammen, so daß er die Linse im Punkte **A** trifft. Dieser Strahl tritt hier ungebrochen in die Linse ein und auch ungebrochen bei **B** wieder aus derselben aus, denn er hat bei seiner Ankunft in den Punkten **A**

und **B** die Richtung der die Einfallslothe bildenden Krümmungshalbmesser **c A**, **C B** (da diese auf den zu **A** und **B** gezogenen Berührungsebenen senkrecht stehen); es ist

Fig. 581.



daher jeder der zwei Einfallswinkel und also auch jeder der zwei Brechungswinkel Null. Der Strahl **L A** geht demnach ungebrochen, folglich auch unzerlegt durch die Linse durch und in der Richtung **B w** weiter. Nicht so verhält es sich mit den andern von **L** auf die Linse gelangenden Strahlen. Jeder derselben erfährt sowohl beim Eintritte in die Linse als beim Austritte aus derselben eine Brechung und somit auch eine Zerlegung in seine farbigen Bestandtheile, und jeder dieser letzteren erfährt die Brechung in einem andern Grade (die rothen Strahlen werden von der Einfallsrichtung immer am wenigsten und die violeten am meisten abgelenkt)...(II). Vorläufig wollen wir jeden durch die Linse gehenden und jeden aus derselben austretenden Strahl als einfach betrachten . . . (III), gleichsam als faßten wir von seinen ungleich brechbaren Bestandtheilen nur einen einzigen von bestimmtem (etwa mittlerem) Grade der Brechbarkeit ins Auge, wollen die Gesetze aufsuchen, welche ein solcher einfacher Strahl bei der Brechung in Linsen beobachtet und dann diese Gesetze auf alle ungleichbrechbaren, farbigen Bestandtheile ausdehnen, in welche jeder in eine Linse (nach einer mit deren Axe nicht zusammenfallenden Richtung) eintretende Strahl zerlegt wird.

Ist nun **L D** ein solcher Strahl, so ist für denselben der auf der Berührungsebene zu **D** senkrecht stehende Krümmungshalbmesser **c D** das Einfallsloth und der Winkel **L D x**, den der Strahl **L D** mit der Verlängerung **D x** des besagten Halbmessers einschließt, der Einfallswinkel; **D E** stellt wegen der beim Uebergange des Lichtes aus Luft in Glas stattfindenden Brechung zum Einfallslothe, und unserer obigen Voraussetzung (**III**) gemäß, den gebrochenen Strahl in der Linse vor, und dieser wird bei **E**, da er hier, aus Glas in Luft übertretend, eine Brechung vom Einfallslothe erleidet, und die Linie **C E y** das Einfallsloth ist, aus der Linse, — wenn anders die Entfernung des leuchtenden Punktes **L** von dieser eine hinreichende Größe hat, (wie wir es auch voraussetzen wollen) — so austreten, daß er auf der vom leuchtenden Punkte abgewendeten Seite der Linse den mit ihrer Axe zusammenfallenden Strahl **L w** in einem Punkte z. B. in **F** durchschneidet, also die Richtung **E z** hat. Denkt man sich nun durch Umdrehung des Durchschnittes **M N** der Linse um ihre Axe erstere ganz hergestellt, und nachher die Figur **L D E F** um die Axe **L F** herumgedreht; so nimmt die Gerade **L D** nach und nach die Lage aller Strahlen an, die der leuchtende Punkt **L** der Linse unter gleicher Neigung gegen **L w** zusendet, wie sie der Strahl **L D** hat, und die Linie **E F** kömmt successive in die Lage der Richtungen, welche alle diese Strahlen nach der in der Linse erlittenen zweimaligen Brechung haben. Da hiebei der Punkt **F** unbeweglich bleibt, so kreuzen sich alle in der Oberfläche des durch die besagte Umdrehung von **L D** beschriebenen Kegels gelegenen, auf die Linse auffallenden Strahlen nach ihrem Austritte aus dieser im Punkte **F**, gehen von diesem so weiter, als wäre derselbe ein leuch-

tender Punkt, und es erscheint einem Auge, welches einige dieser Strahlen nach ihrer Kreuzung empfängt, gerade so, als ob in diesem Punkte der leuchtende Punkt **L** selbst sich befände; es sieht daselbst also ein Bild des Punktes **L**.

Wir wollen zunächst die Lage dieses Bildes gegen die Linse unter der Voraussetzung bestimmen, daß der Winkel **DLA**, welchen alle in der Oberfläche des vorher erwähnten Kegels gelegenen und auf die Linse fallenden Strahlen mit der Axe **Lw** bilden, sehr klein sei, diese Strahlen also die Linse in sehr kleinem Abstande von der Axe (unter sehr kleiner Elongation) treffen. Dem 2. Brechungsgesetze S. 631 gemäß ist $\frac{\sin. LDx}{\sin. cDE} = n$, wenn n den Brechungsexponenten für den Uebergang des Lichtes aus Luft in das Glas, aus welchem die Linse besteht, und für die Brechung eines in bestimmtem (mittlerem) Grade brechbaren Bestandtheiles des weißen Lichtes bedeutet. Bezeichnet **EG** den Weg, welchen der Strahl **LD** nach der ersten Brechung bei **D** nehmen würde, wenn er bei **E**, ohne daselbst wieder eine Brechung zu erleiden, aus der Linse austreten könnte; so hat man, da $\angle cDE = \angle cDG$ ist, auch $\frac{\sin. LDx}{\sin. cDG} = n \ldots (1)$. Da nach der Voraussetzung der Winkel **DLA**, mithin auch der Winkel **LDx** und **cDG** sehr klein ist, so kann man für die Sinus der letzteren zwei Winkel diese Winkel selbst setzen; man hat also $\frac{LDx}{cDG} = n$ oder $LDx = n.cDG$. Nun ist aber $LDx = DcL + DLc$ und $cDG = DcL - DGc$ (weil jeder äußere Winkel eines Dreieckes der Summe der beiden innern entgegengesetzten gleich ist), daher $DcL + DLc = n(DcL - DGc)$ oder $DLc = (n-1)DcL - n.DGc \ldots (2)$. Setzt man die Entfernung des leuchtenden Punktes d. i. $LA = a$, den Krümmungshalbmesser $cA = R$, die Elongation des Strahles **LD** d. i. $AD = e$, und $AG = z$; so ist bei dem Umstande, daß man, da die Winkel **DLA** und **DcA** sehr klein sind, für dieselben ihre Tangenten setzen, ferner die Linie **AD** als gerade und auf **Lw** senkrecht, mithin als Sinus der Winkel **DLA, DcA** und **DGA** betrachten kann, offenbar $DLc = DLA = \frac{AD}{AL} = \frac{e}{a}$, $DcL = DcA = \frac{AD}{Ac} = \frac{e}{R}$ und $DGc = DGA = \frac{AD}{AG} = \frac{e}{z}$. Substituirt man diese Werthe für **DLc, DcL** und **DGc** in der Gleichung (2) und läßt den hernach allen Gliedern gemeinschaftlichen Faktor e weg, so geht sie in $\frac{1}{a} = \frac{n-1}{R} - \frac{n}{z} \ldots$ (IV) über.

In Bezug auf die zweite Brechung, die der Strahl beim Austritte aus der Linse im Punkte **E** erfährt, ist mit Rücksicht auf (3) S. 632 $\frac{\sin. DEC}{\sin. FEy} = \frac{1}{n}$; ferner hat man aus ganz ähnlichen Gründen, wie sie bei Betrachtung der ersten Brechung in **D** angegeben wurden, $\frac{DEC}{FEy} = \frac{1}{n}$, folglich $FEy = n.DEC$; $FEy = ECF + EFC$, $DEC = EGC + ECG$; demnach und wegen $ECG = ECF$ ist $ECF + EFC = n(EGC + ECF)$ oder $EFC = (n-1)ECF + n.EGC \ldots (3)$. Ferner ergibt sich, wenn man $CB = r$, die Linsendicke $AB = d$, die Bildweite $BF = \alpha$ und die Elongation $EB = e_1$ setzt: $EFC = EFB = \frac{EB}{FB} = \frac{e_1}{\alpha}$, $ECF = ECB = \frac{EB}{BC} = \frac{e_1}{r}$ und $EGC = EGB = \frac{EB}{GB} = \frac{e_1}{z-d}$. Endlich erhält man durch Substitution in die Gleichung

(3) unter Weglassung des gemeinschaftlichen Faktors e_1 die Gleichung $\frac{1}{\alpha} = \frac{n-1}{r} + \frac{n}{z-d}$ . . . (V). Sucht man nun aus der Gleichung (IV) den Werth für z und substituirt denselben in die Gleichung (V); so gibt diese die Bildweite α. Vernachlässigt man die im Verhältnisse zu z kleine Dicke d der Linse, was bei dem Umstande, daß es sich hier mehr um eine allgemeine Darstellung der Lichterscheinungen bei Linsen, als um eine scharfe Berechnung dieser Erscheinungen handelt, erlaubt ist; so geht der Ausdruck (V) in die Gleichung $\frac{1}{\alpha} = \frac{n-1}{r} + \frac{n}{z}$ über. Addirt man hiezu die Gleichung (IV), so ergibt sich

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right), \qquad (157)$$

ferner, wenn man Kürze halber die für die nämliche Linse und bei derselben Beschaffenheit des diese letztere umgebenden Mittels konstante Größe $(n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right) = \frac{1}{p}$ . . . (VI) setzt, für die beiderseits convexe Linse die Gleichung

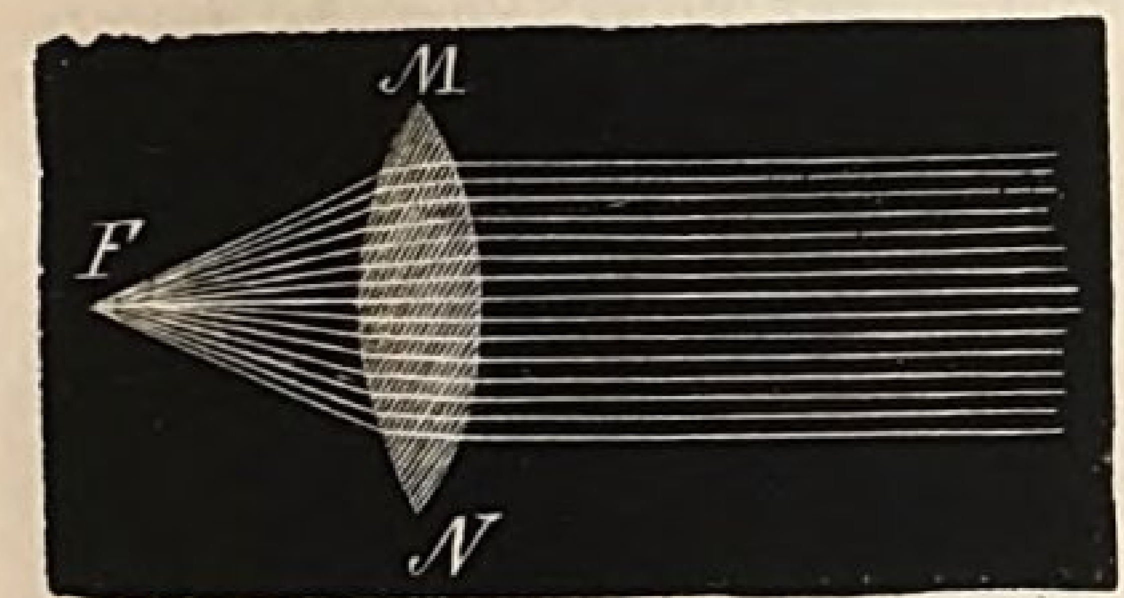
$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a} = \frac{1}{p} \text{ oder } \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \qquad (158)$$

und aus dieser die Abhängigkeit der Bildweite α von der Entfernung a des in der Axe der Linse gelegenen leuchtenden Punktes durch die nachfolgenden Betrachtungen. Was sich hierüber ergeben wird, gilt den bei Entwicklung der Formel (157) gemachten Voraussetzungen gemäß, natürlich (und da nur näherungsweise) bloß von jenem Bilde, welches in dem Punkte entsteht, wo sich sehr nahe an der Axe der Linse (in einem sehr kleinen Umkreise um A, Fig. 581) auffallende Lichtstrahlen nach der Brechung durchkreuzen. Denn Strahlen, die von L unter verschiedenen Elongationen auf die Linse gelangen, schneiden sich wegen der kugelförmigen Gestalt der Linse nach der Brechung darin auch in verschiedenen Punkten, und aus allen diesen zusammen entsteht eben so wie bei einem Hohlspiegel (man sehe S. 624) eine Brennfläche. Es findet daher auch bei Linsen eine die Deutlichkeit des Bildes beeinträchtigende Abweichung der gebrochenen Strahlen von einem einzigen Durchschnittspunkte, eine sogenannte sphärische Abweichung (Abweichung wegen der Kugelgestalt der Linse) statt, die aber gleich jener bei Hohlspiegeln für alle unter sehr geringen Elongationen auf die Linse auffallenden Strahlen so gering ist, daß, wenn man nur solchen Strahlen (nämlich zu Folge Bedeckung der von der Axe der Linse entfernteren Flächentheile der letzteren mit einem undurchsichtigen Ringe, Blendung genannt, blos durch einen kleinen Umkreis um diese Axe den Strahlen) den Durchgang gestattet, das Bild des leuchtenden Punktes, wenn auch keinen vollkommenen, doch einen hohen Grad von Deutlichkeit und Reinheit besitzt, zumal wenn die Flächen der Linse geringere Krümmungen (größere Krümmungshalbmesser) haben, die Linse also weniger kugelähnlich ist. Der besagte, den Strahlen zum Durchgang dargebotene Umkreis um die Axe der Linse herum heißt die Oeffnung der letzteren; es kann daher diese Oeffnung, der Deutlichkeit des Bildes unbeschadet, desto größer sein, je größere Krümmungshalbmesser die betreffende Linse hat . . (159).

303. Nähere Bestimmung der Lage des Bildes eines vor einer doppelt convexen Linse befindlichen leuchtenden Punktes. Nimmt man nun (nach dem Vorausgeschickten und unter Voraussetzung nur sehr nahe an der Axe durch die Linse gehender Strahlen) in der oben unter (158) auf-

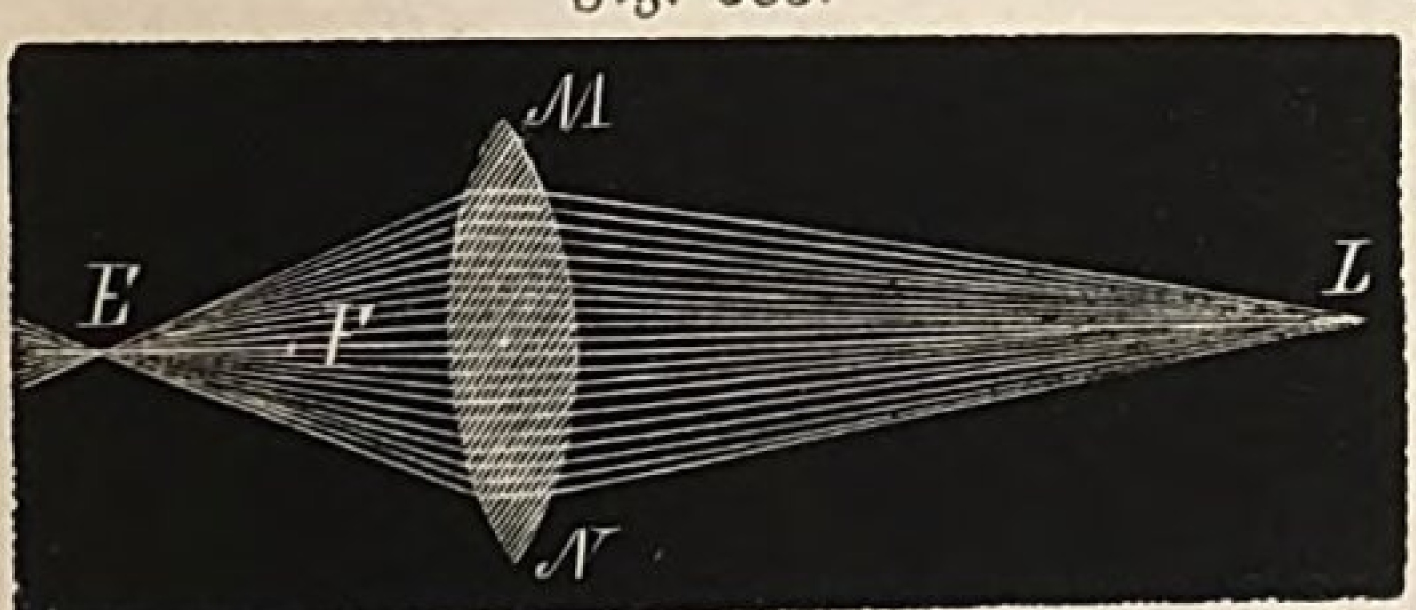
gestellten Formel $\frac{1}{\alpha}=\frac{1}{p}-\frac{1}{a}$ 1). $a=\infty$ d. h. die auffallenden Strahlen unter einander parallel an; so wird $\frac{1}{a}=0$, mithin $\frac{1}{\alpha}=\frac{1}{p}$ oder $a=p$. Parallele Strahlen werden also durch die Brechung hinter der Linse in einem Punkte **F** (Fig. 582) ihrer Axe vereinigt, dessen Entfernung von dieser $=p$ ist. Man nennt diesen Vereinigungspunkt aus dem nämlichen für den analogen Punkt beim Hohlspiegel angeführten Grunde den **Brennpunkt** (**Focus**) der Linse und seinen Abstand p von der Linse die **Brennweite** (**Focaldistanz**) der letzteren. Der Werth der Brennweite ergibt sich für jede doppelt convexe Linse aus der oben unter (**VI**) stehenden Formel $(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{r}\right)=\frac{1}{p}$

Fig. 582.



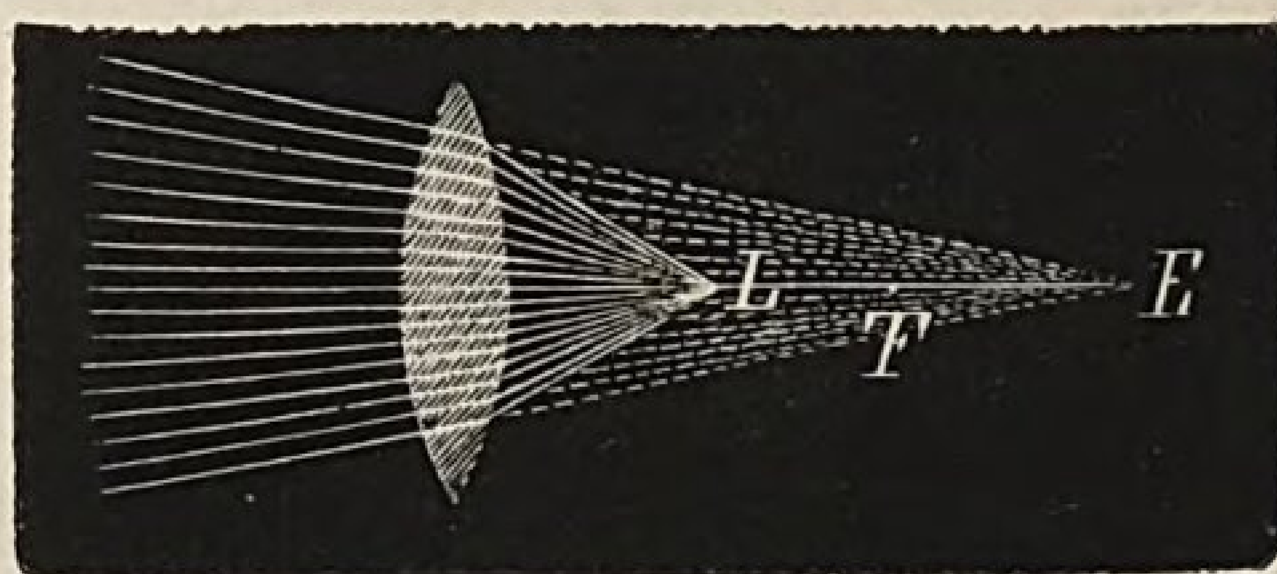
und man sieht, daß er desto mehr betrage, je kleiner der Brechungsexponent für das Materiale der Linse und des angrenzenden Mittels, und bei bestimmter Beschaffenheit dieser Mittel, je größer jeder der Krümmungshalbmesser der Linsen ist. 2). Hat a einen endlichen Werth z. B. a_1, in welchem Falle die vom leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen nach divergenten Richtungen auf die Linse gelangen; so ist $\frac{1}{\alpha}=\frac{1}{p}-\frac{1}{a_1}$ und hieraus folgt $\alpha=\frac{a_1 p}{a_1-p}$ oder $\alpha=p\cdot\frac{a_1}{a_1-p}$. Dieser Ausdruck gibt, wenn vorher p mittelst der Formel (**VI**) berechnet worden, nicht nur den Werth der Bildweite für jede endliche Entfernung des leuchtenden Punktes, sondern aus derselben gehen für divergent auffallende Strahlen auch noch folgende Wahrheiten hervor. **A**). So lange $a_1>p$ d. h. der Abstand des leuchtenden Punktes von der Linse größer als die Brennweite der letzteren ist, ist die Bildweite größer als die Brennweite (Fig. 583); denn es muß letztere (p) mit dem unechten Bruche $\frac{a_1}{a_1-p}$ multiplizirt d. i. vergrößert werden, um der Bildweite (α) gleichzukommen. — **B**). Je näher der leuchtende Punkt an die Linse und an ihren Brennpunkt rückt (je divergenter also die Strahlen auf erstere fallen), desto größer wird die Bildweite (α), weil je kleiner der Werth von a_1, desto größer offenbar jener des Bruches $\frac{a_1}{a_1-p}$ wird. — **C**). Ist $a_1=p$, d. h. befindet sich der leuchtende Punkt im Brennpunkte; so ergibt sich aus (158) $\alpha=\infty$ d. h. Strahlen, die von einem im Brennpunkte der Linse befindlichen leuchtenden Punkte ausgehen, werden durch die Brechung parallel. (Diesen Fall repräsentirt auch die Figur 582, wenn man darin **F** den im Brennpunkte befindlichen leuchtenden Punkt bedeuten läßt.) — **D**). Ist $a_1<p$ d. i. befindet sich der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, so gibt die Gleichung $\alpha=p\cdot\frac{a_1}{a_1-p}$ für α den Werth $-a_1\cdot\frac{p}{p-a_1}$; die Bildweite ist demnach negativ d. h. (mit Bezug auf (**I**) S. 651) das Bild des leuchtenden Punktes liegt mit diesem auf einer und derselben Seite

Fig. 583.



der Linse und zwar, — da $\alpha > a_1$ ist, weil, dem vorstehenden Werthe von α gemäß, a_1 mit einem unechten Bruche $\frac{p}{p - a_1}$ multiplizirt, also vergrößert werden muß, damit es dem α gleich wird, — in einer größeren Entfernung von der Linse als der leuchtende Punkt selbst. Da ferner der Werth von $-a_1 . \frac{p}{p - a_1}$ mit der Abnahme der Größe von a_1 immer kleiner wird, so folgt zugleich, daß das mit dem leuchtenden Punkte auf einerlei Seite der Linse gelegene Bild **E** dieser desto näher rückt, je mehr sich ihr der (innerhalb der Brennweite gelegene) leuchtende Punkt nähert. Die Fig. 584, wo **L** den leuchtenden Punkt, **E** dessen Bild und **F** den Brennpunkt vorstellt, macht den eben betrachteten Fall anschaulich und zeigt zugleich, daß die Strahlen, da sie nach der Brechung in der Linse von einem weiter von dieser entfernt gelegenen Punkte herzukommen scheinen, durch diese Brechung weniger divergent werden.

Fig. 584.



Faßt man nun die Richtungen der durch die doppelt convexe Linse gebrochenen Strahlen in allen eben erörterten Fällen näher ins Auge, so zeigt sich, daß die Wirkung der Linse stets in einem Concentriren oder Sammeln der sie passirenden Strahlen besteht (parallele Strahlen macht sie nämlich convergent, divergente macht sie entweder convergent oder parallel oder mindestens weniger divergent). Zu Folge (I) S. 651 wird aus der Formel (157) für die beiderseits convexe Linse, wenn man darin einen der Krümmungshalbmesser z. B. $\mathbf{R} = \infty$ setzt, die Formel $\frac{1}{\alpha} = (n-1)\frac{1}{r} - \frac{1}{a} \ldots$ (1) für die plan-convexe Linse, und wenn man dem besagten Halbmesser **R** einen negativen Werth z. B. $-\rho$ gibt, der größer ist als der des zweiten Halbmessers **r**, erhält man die Formel $\frac{1}{\alpha} = (n-1)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho}\right) - \frac{1}{a}$ oder $\frac{1}{\alpha} = (n-1)\frac{1}{r_1} - \frac{1}{a} \ldots$ (2) für die concav-convexe Linse, (falls man die offenbar positive Differenz $\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} = \frac{1}{r_1}$ setzt). Da demnach diese beiden Formeln (1) und (2) von jener (157) der doppelt convexen Linie nur im numerischen Werthe der (aus Gleichung $(n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right) = \frac{1}{p}$ sich ergebenden) Brennweite p unterschieden sind, die planconvexe und die concav-convexe Linse also gleichsam doppelt convexe Linsen von verschiedenen Brennweiten repräsentiren; so werden die ersteren zwei Linsen die sie passirenden Lichtstrahlen auch ganz in der nämlichen Weise brechen, wie eine doppelt convexe Linse und dieselben gleich dieser stets zu concentriren oder zu sammeln suchen. Mit Recht faßt man demnach die doppelt convexe, die planconvexe und die concav-convexe Linse unter der gemeinschaftlichen Benennung Sammellinsen oder Converlinsen zusammen und betrachtet als deren Repräsentanten die doppelt convexe Linse. Erhalten in Formel (157) die beiden Krümmungshalbmesser **R** und **r** negative Werthe; so geht dieselbe in die Formel $\frac{1}{\alpha} = (n-1)\left(-\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right) - \frac{1}{a}$

oder mit Bezug auf Formel (VI) S. 654, in $\frac{1}{\alpha} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right)$. . . (160)

für die doppelt concave Linse (**D** Fig. 580) über.

Eine Analyse dieser Formel, gleich jener mit der Formel (VI) vorgenommenen, führt wieder zur Kenntniß der Brechung des Lichtes in der biconcaven Linse und der Lage des Bildes eines vor derselben befindlichen leuchtenden Punktes. Ist nämlich: 1). $a = \infty$, so folgt $\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p}$ oder $\alpha = -p$. Es liegt demnach der Vereinigungspunkt paralleler Strahlen mit dem leuchtenden Punkte auf einer und derselben Seite der Linse, d. h. die Strahlen werden so gebrochen (Fig. 585), als kämen sie von einem vor derselben in endlicher Entfernung gelegenen Punkte **F** her. Obgleich dieser Punkt kein wirklicher, sondern nur ein scheinbarer Vereinigungspunkt der parallelen Strahlen nach der Brechung ist, heißt er doch auch der Brennpunkt der Linse. Die Linse macht daher parallel auf sie fallende Strahlen durch Brechung divergent. 2). Umstaltet man die Formel (160) in $\alpha = -p \cdot \frac{a}{a+p}$ und $\alpha = -a \cdot \frac{p}{a+p}$, so sieht man leicht, daß für jeden endlichen positiven Werth der Entfernung a des leuchtenden Punktes von der Linse die Bildweite α einen negativen Werth erhält, daß dieser immer kleiner ist als p und als a, und daß er mit dem Werthe von a abnimmt, daß also (Fig. 586) divergent auf die Linse auffallende Strahlen durch die Brechung in der Linse divergenter werden als parallel auffallende und als sie es vor dem Eintritt in die Linse waren. 3). Für den Fall, daß die Strahlen (1, 2, 3 . . . Fig. 587) eine beiderseits concave Linse convergirend treffen, so als läge der leuchtende Punkt (**L**) hinter der Linse, ist in obiger Formel (160) — a anstatt a zu setzen, so daß diese Formel in $\frac{1}{\alpha} = -\left(\frac{1}{p} - \frac{1}{a}\right)$ oder $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{a} - \frac{1}{p}$ . . . (3) übergeht. Ist nun $a = p$ d. i. die Entfernung des imaginären leuchtenden Punktes eben so groß, wie die Brennweite der Linse, so folgt $\frac{1}{\alpha} = o$ oder $\alpha = \infty$ d. h. die convergenten Strahlen werden in diesem Falle durch Brechung parallel (Fig. 587) Für $a > p$ ist $\frac{1}{\alpha}$, mithin α selbst negativ d. h. das Bild entsteht vor der Linse z. B. in **E** (Fig. 588); es werden also

Fig. 585.

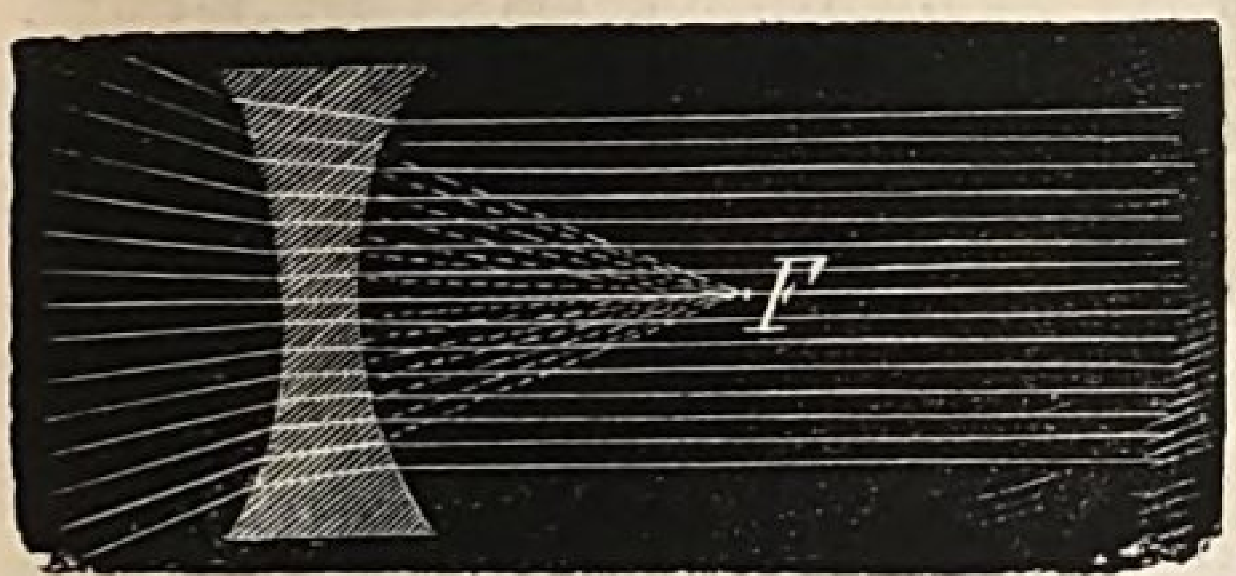


Fig. 586.

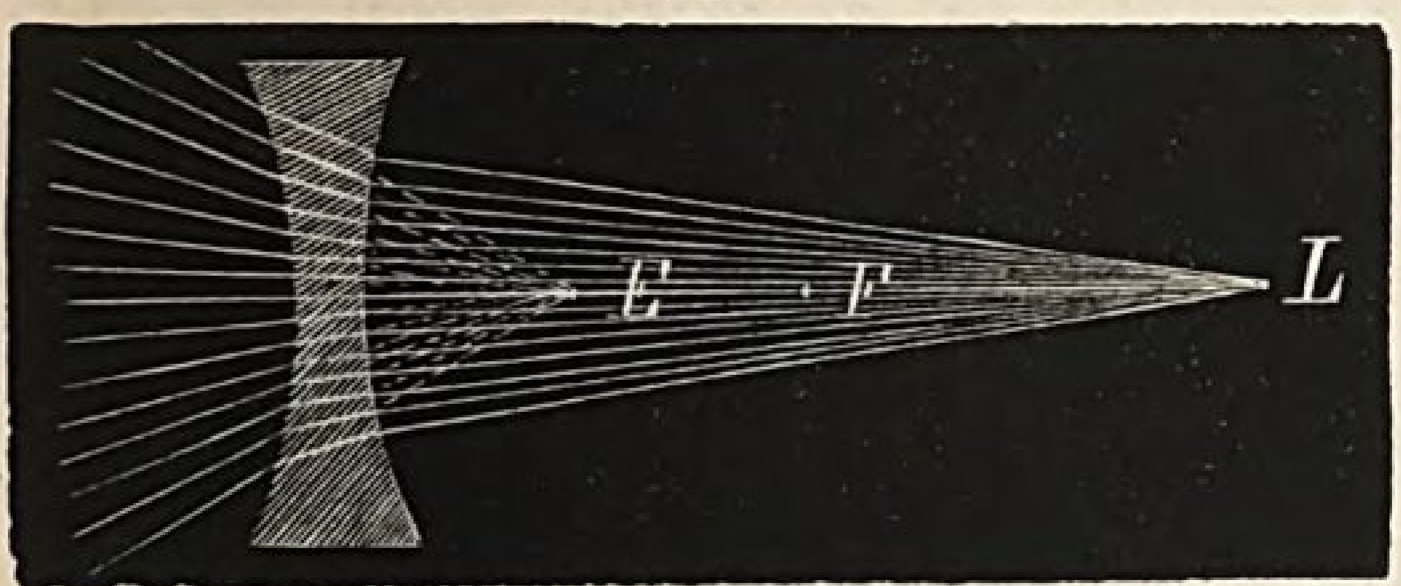


Fig. 587.

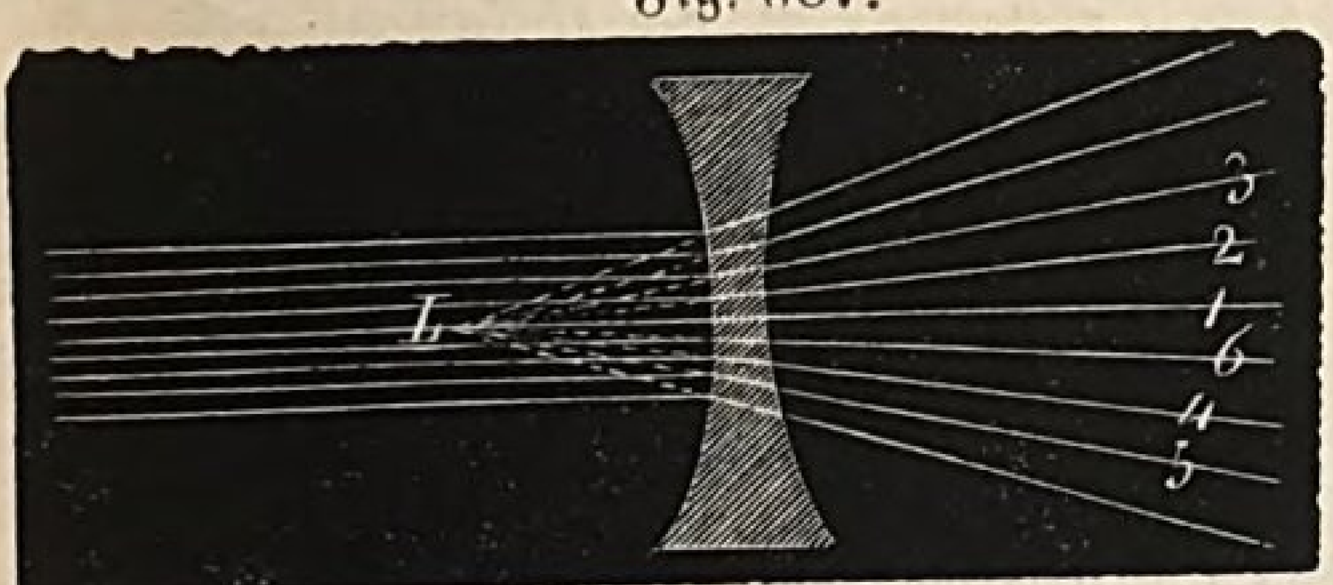
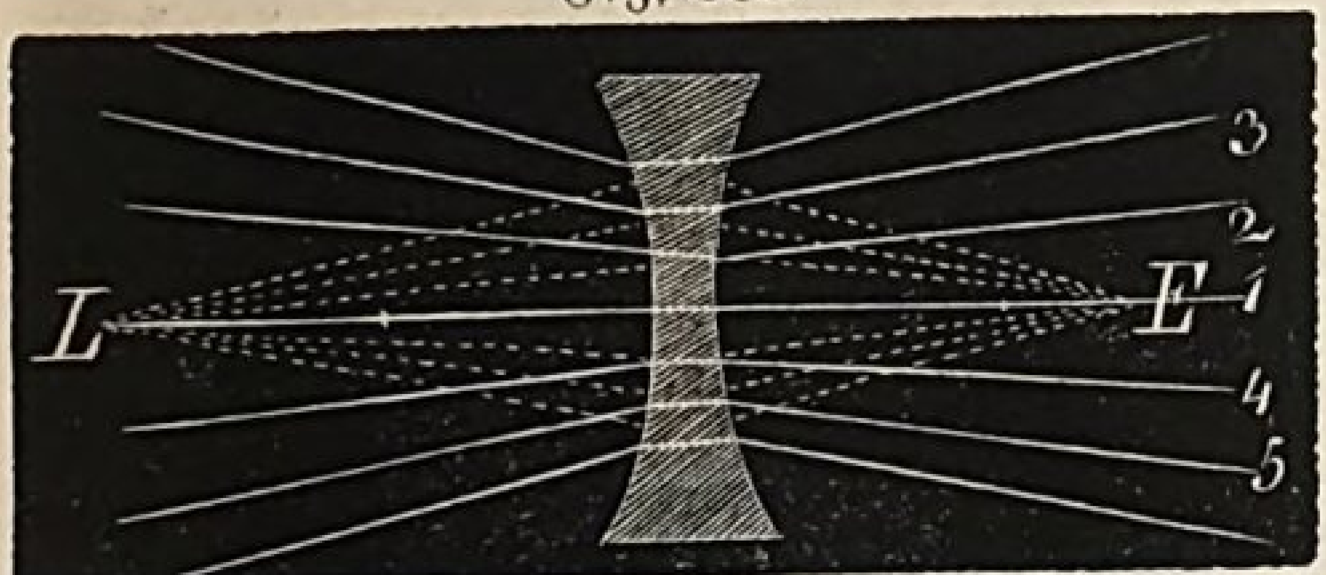
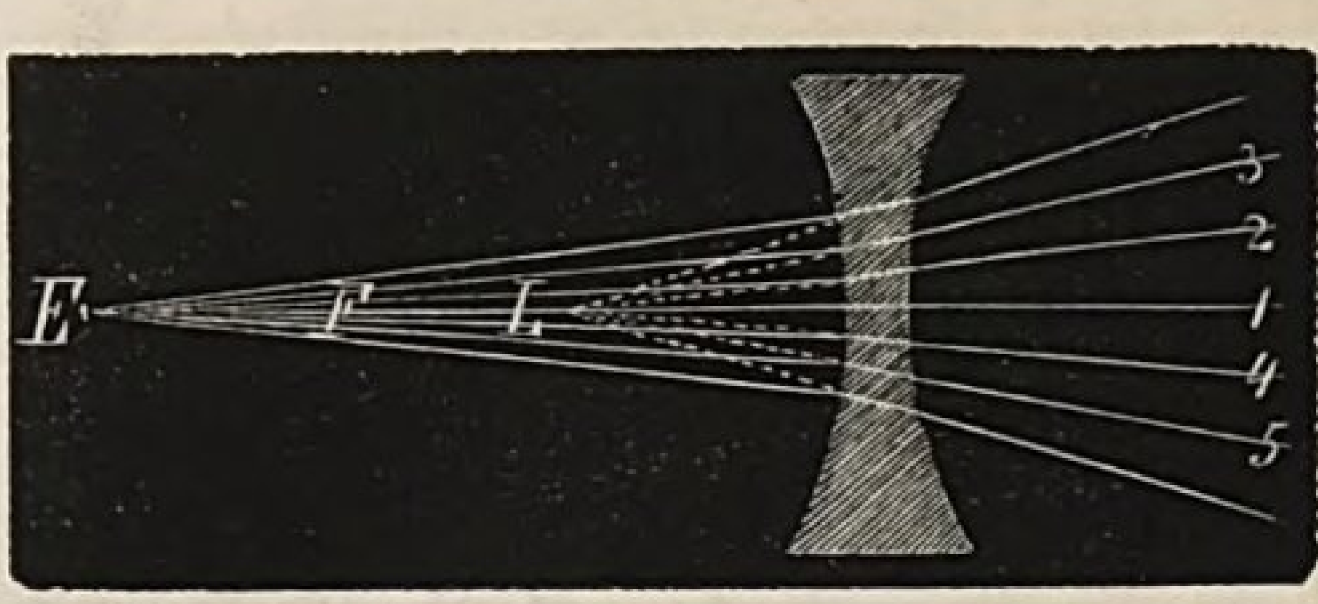


Fig. 588.



in diesem Falle convergirende Strahlen durch die Brechung divergent....(4). Für den dritten möglichen Fall endlich, daß nämlich $a < p$ ist, wird $\frac{1}{\alpha}$ und daher auch α positiv. Das Bild entsteht also hinter der Linse, und zwar, da α gemäß der aus (3) folgenden Gleichung $\alpha = a \cdot \frac{p}{p-a}$, größer als a ist (indem a erst mit einem unechten Bruche multiplizirt dem α gleich wird) in einem Punkte z. B. **E** (Fig. 589), welcher von der Linse weiter entfernt liegt als der immaginäre leuchtende Punkt (**L**), so daß in diesem dritten Falle die convergenten Strahlen durch die Brechung in der Linse weniger convergent werden als sie es vor ihrem Eintritt in dieselbe waren.

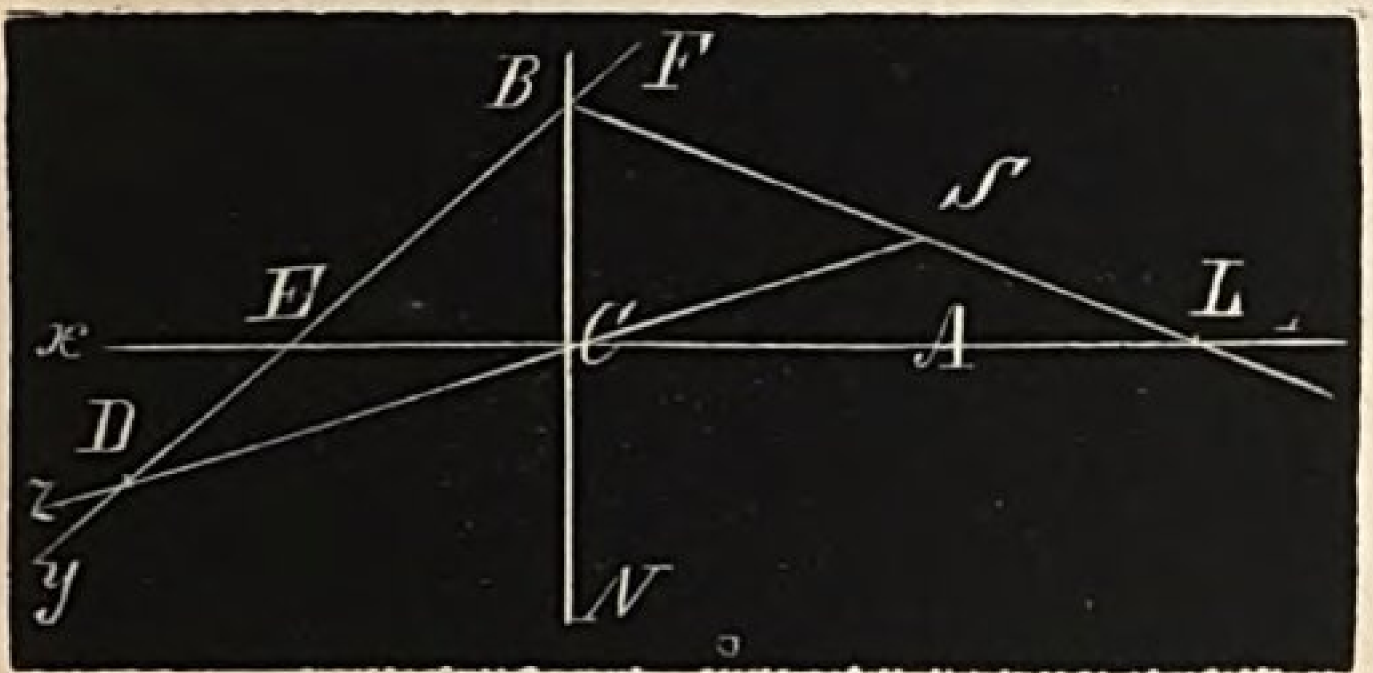
Fig. 589.



Der nämliche Zusammenhang, der oben zwischen der doppelt convexen, plan-convexen und concav-convexen Linse nachgewiesen wurde, findet auch zwischen der beiderseits concaven, der plan-concaven und convex-concaven Linse (**D**, **E** und **F** (Fig. 580) statt. Letztere zwei Linsen repräsentiren nämlich, wie ihre Formeln zeigen, doppelt concave Linsen von verschiedenen Brennweiten. Diese Formeln werden aus Formel (157) S. 654 erhalten, und zwar, wenn man darin den einen der Krümmungshalbmesser $= \infty$ und den andern negativ nimmt, ergibt sich die Formel für die plan-concave Linse, nämlich $\frac{1}{\alpha} = -(n-1)\frac{1}{R} - \frac{1}{a}$ oder $\frac{1}{a} = -\left(\frac{1}{p_1} + \frac{1}{a}\right)$; wird ein Halbmesser (**r**) negativ und kleiner als der andere genommen, so erhält man die Formel für die convex-concave Linse, nämlich $\frac{1}{\alpha} = -(n-1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right) - \frac{1}{a} = \frac{1}{\alpha} = -(n-1)\frac{1}{r_1} - \frac{1}{a}$ oder $\frac{1}{\alpha} = -\left(\frac{1}{p_2} + \frac{1}{a}\right)$, wenn p_1 und p_2 die Brennweiten in beiden Fällen bedeuten und die offenbar negative Differenz $\frac{1}{R} - \frac{1}{r} = -\frac{1}{r_1}$ gesetzt wird. Da, wie die eben vorgenommene Analyse der betreffenden Formeln zeigt, die doppelt concave Linse die einfallenden Strahlen immer zerstreut (mehr aus einander wirft) und eine gleiche Wirkung auf das Licht auch von der plan-concaven und von der convex-concaven Linse geübt wird; so heißt man diese drei Linsen Zerstreuungslinsen oder auch Concavlinsen.

304. Bestimmung der durch Linsen zu Stande kommenden Bilder leuchtender Gegenstände. Zu diesem Behufe muß zuerst dargethan werden, daß die oben S 654 unter (158) aufgestellte Gleichung $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$ oder $\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a} = \frac{1}{p}$ ... (†), welche, wie wir bereits gesehen haben, die Grundformel für die sphärischen Linsen bildet und für diese in allen Fällen die Lage des Bildes eines in der Linsenaxe gelegenen leuchtenden Punktes bestimmt, auch dann gelte, wenn dieser Punkt nicht in der besagten Axe, jedoch nur wenig von derselben entfernt liegt. Um dies zu beweisen, sei (unter der schon bei Entwicklung der Formel (158) gemachten Voraussetzung, daß man die Dicke der Linse vernachlässige) in Fig. 590 **N** der Durchschnitt der Linse, **C** ihr optischer Mittelpunkt, **Ax** ihre Axe, **S** ein außerhalb der Axe, ihr aber sehr nahe gelegener leuchtender Punkt, **SC** und **SB** zwei von

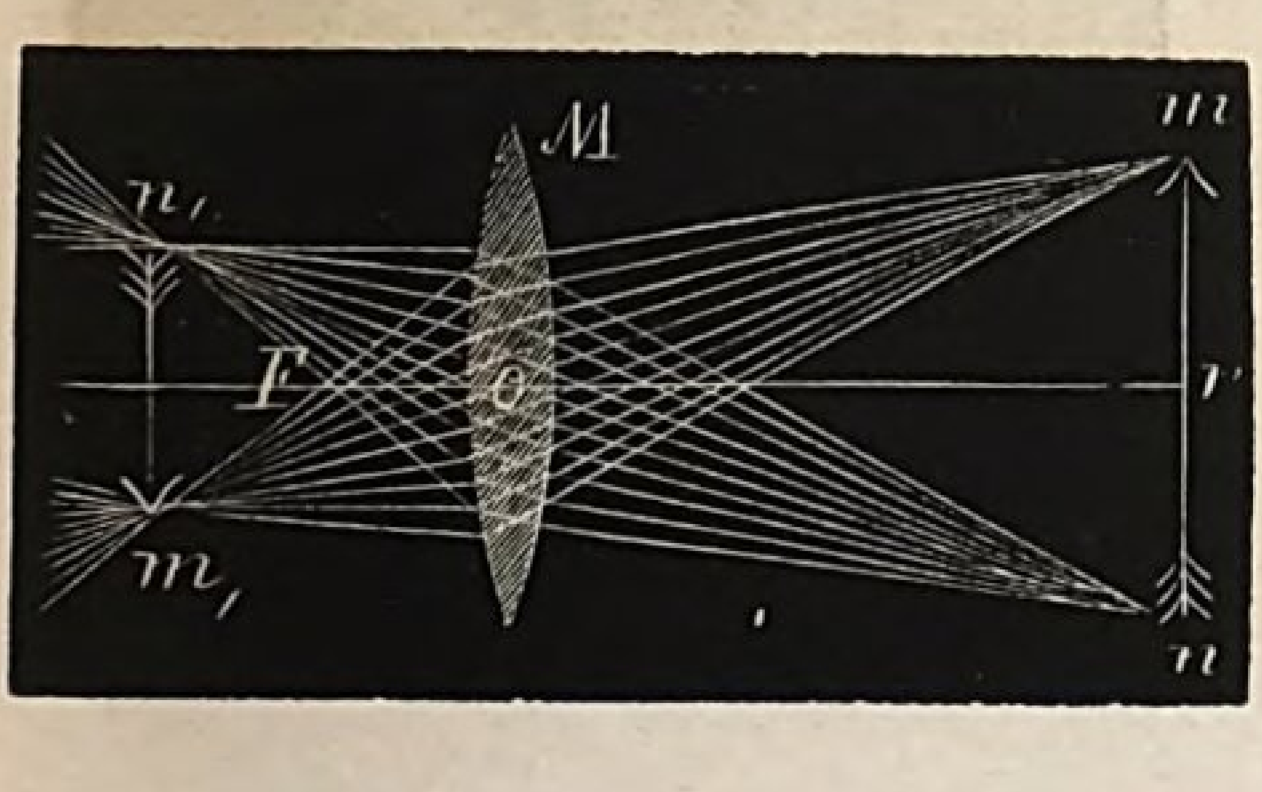
Fig. 590.



diesem auf die Linse treffende Strahlen, wovon ersterer durch **C** geht und wegen Kleinheit des Winkels **SCA** als ungebrochen nach **z** durchgehend angenommen werden kann, letzterer hingegen außerhalb des optischen Mittelpunktes auffällt, und durch die Linse nach der Richtung **By** gebrochen wird, so daß im Durchschnittspunkte **D** ein Bild des leuchtenden Punktes **S** entsteht. Verlängert man die Richtung des Strahles **SB** und der Axe der Linse so lange, bis sie sich z. B. im Punkte **L** schneiden, verlängert man ferner die Richtung des gebrochenen Strahles nach **F** hin und bezeichnet den Durchschnittspunkt dieses Strahles und der Linsenaxe mit **E**; so hat man, weil jeder äußere Winkel eines Dreieckes der Summe der zwei inneren entgegengesetzten gleich ist, für das Dreieck **BDS**, **FBS = BDS + BSD** und für das Dreieck **BEL**, **FBS = BEL + BLE**, mithin **BDS + BSD = BEL + BLE** . . . (††). Da nun wegen der vorausgesetzten sehr geringen Entfernung des Punktes **S** von der Axe **Ax** auch **Sz** so wenig gegen **Ax** geneigt ist, daß die auf **Ax** lothrechte Linie **BN** ebenfalls auf **Sz** senkrechtstehend angenommen werden kann; so ist, wenn man statt der in Gleichung (††) vorkommenden sehr kleinen Winkel die Tangenten setzt, $\frac{BC}{DC} + \frac{BC}{SC} = \frac{BC}{EC} + \frac{BC}{LC}$ oder $\frac{1}{DC} + \frac{1}{SC} = \frac{1}{EC} + \frac{1}{LC}$. Befände sich der leuchtende Punkt in **L**, so wäre **LC** dessen Abstand **a** von der Linse und **EC** die Bildweite α, daher gemäß (†) $\frac{1}{EC} + \frac{1}{LC} = \frac{1}{p}$; es muß also auch $\frac{1}{DC} + \frac{1}{SC} = \frac{1}{p}$ sein. Nun stellt aber, für den leuchtenden Punkt **S**, **SC** den Abstand von der Linse und **DC** die Bildweite vor; es ist demnach, so wie für einen in der Axe einer Linse gelegenen leuchtenden Punkt, auch für einen außerhalb der Axe ihr aber sehr nahe befindlichen der reciproke Werth der Brennweite (p) gleich der Summe der reciproken Werthe der Punkt- und Bildweite (a, α), und es entsteht von einem solchen (außer der Axe gelegenen) leuchtenden Punkte das Bild unter ganz gleichen Umständen, wie von einem in der Axe liegenden, nur anstatt in dieser, in einer vom leuchtenden Punkte aus durch den optischen Mittelpunkt der Linse gehenden und beiderseits verlängert gedachten geraden Linie, also im H a u p t s t r a h l e, da der mit dieser Linie zusammenfallende Strahl der Hauptstrahl genannt wird. Es versteht sich von selbst, daß auch das Bild eines außer der Linsenaxe befindlichen leuchtenden Punktes nur dann rein und deutlich sein könne, wenn es blos von sehr nahe um den optischen Mittelpunkt herum durch die Linse gehenden Strahlen erzeugt wird.

Es ist jetzt für sich klar, daß das Bild eines vor einer Linse stehenden Gegenstandes, der ein Aggregat lauter von der Linsenaxe nicht weit entfernter leuchtender Punkte darstellt, die Aneinanderreihung der Bilder der besagten Punkte sei, welche in den Hauptstrahlen dieser Punkte ganz unter den Umständen entstehen, die in **302** für einen leuchtenden Punkt in der Axe der Linse ermittelt und nachgewiesen wurden. Stellt demnach **mn** (Fig. 591)

Fig. 591.



einen vor einer Sammellinse **M** in einer endlichen Entfernung, die größer ist als die Brennweite der Linse, befindlichen Gegenstand und **F** den Brennpunkt vor; so entsteht das Bild von m in m_1, von n in n_1 und zwischen diesen Bildern liegen jene der übrigen Punkte des Gegenstandes, so daß $m_1\ n_1$ das Bild des letzteren vorstellt. — Befindet sich der Gegenstand in so großem Abstande von der Linse, daß auf diese von jedem seiner Punkte m, n, r . . . Büschel 2, 3, 1 u. s. w. unter einander paralleler Strahlen auffallen; so entsteht das Bild in der Entfernung des Brennpunktes **F** (Fig. 592). Hiernach ergibt sich ein Mittel auf dem Versuchswege die Brennweiten der Sammellinsen zu bestimmen. So ist z. B. die Entfernung des hinter einer solchen Linse entstehenden kleinen Bildchens der Sonnenscheibe gleich der Brennweite der Linse. — Die Figur 593 macht die Entstehung und Lage des Bildes $m_1\ n_1$ in dem Falle anschaulich, wo der Gegenstand sich innerhalb der Brennweite einer converen Linse befindet und wo die von dessen einzelnen Punkten (m, n . . . .) auf die Linse gelangenden Strahlen durch diese so gebrochen werden, als kämen sie von Punkten (m_1, n_1 . . .) her, die mit dem Gegenstande auf einer und derselben Seite der Linse, aber in größerer Entfernung als dieser gelegen sind. Zugleich zeigen die letzteren Figuren, daß das Auge **A** nur dann das Bild des ganzen Gegenstandes sieht, wenn es sich hinter der Linse in einer Stellung befindet, in welcher es von allen Punkten des Gegenstandes herkommende Strahlen nach der Brechung zugesendet erhält; daß das Bild, wenn der Gegenstand außerhalb der Brennweite sich befindet, stets verkehrt, wenn er aber innerhalb der Brennweite steht, immer aufrecht erscheinen müsse; ferner daß, da offenbar $m\,n : m_1\ n_1 = m\,o : m_1\,o$ ist, das Bild desto größer ausfällt, in je größerer Entfernung von der Linse es entsteht, mithin je näher der Gegenstand im ersten Falle dem Brennpunkte der Linse und im zweiten Falle dieser selbst steht, und endlich daß das Bild im zweiten Falle stets größer als der Gegenstand, im ersten Falle hingegen größer oder kleiner als dieser sei, jenachdem $m_1\,o > m\,o$ oder $m_1\,o < m\,o$ ist.

Fig. 592.

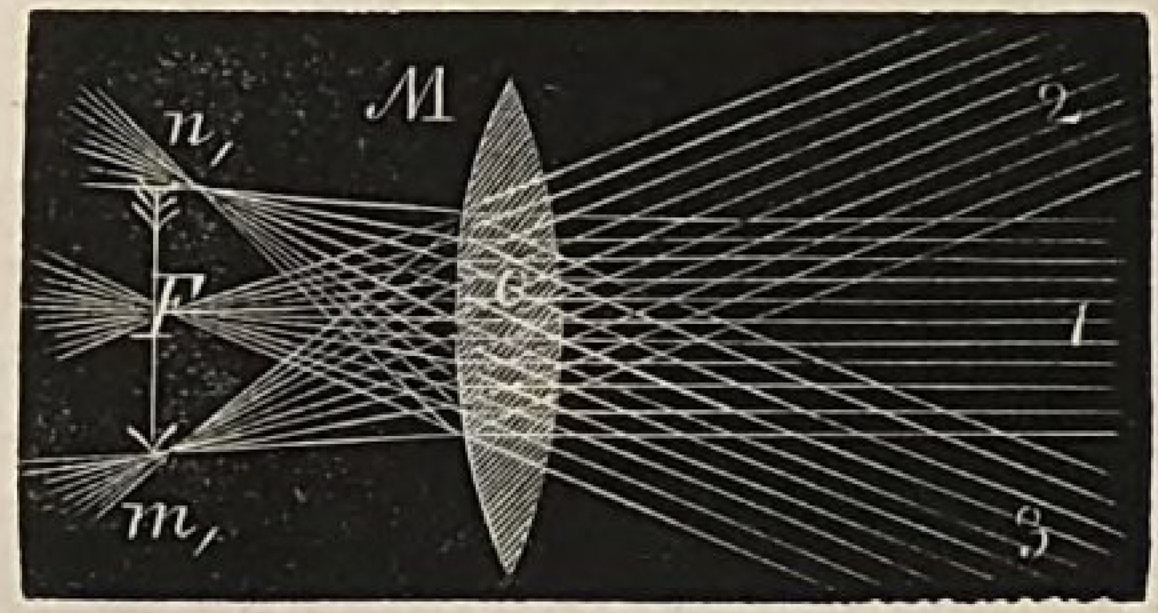
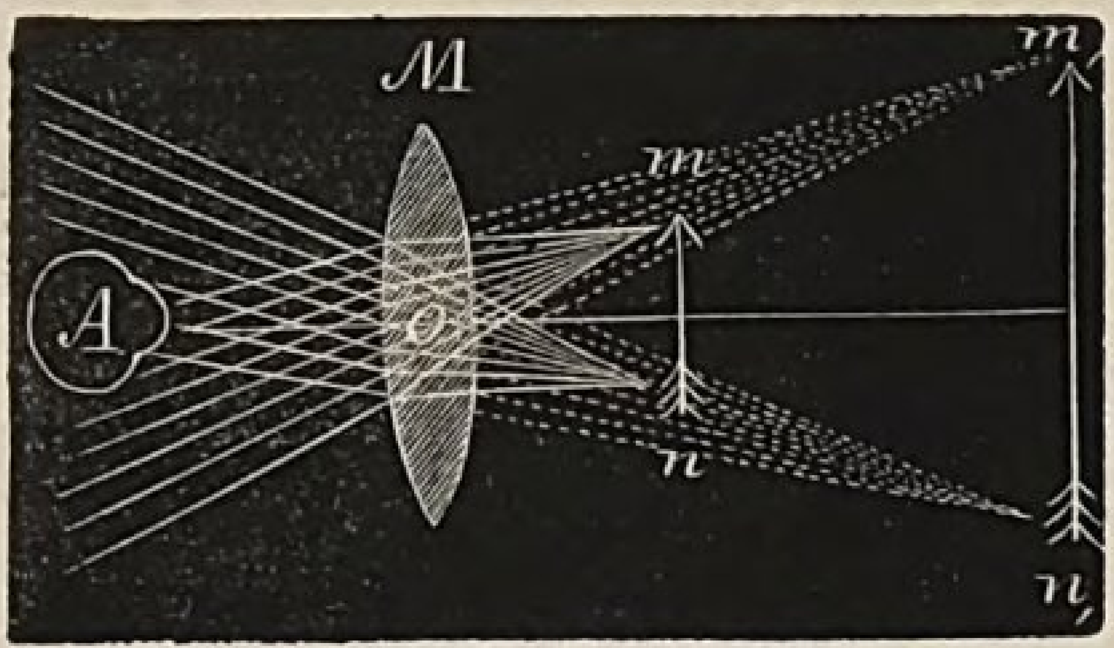


Fig. 593.



Die Entstehung und Lage des Bildes eines vor einer Zerstreuungslinse befindlichen Gegenstandes machen die folgenden Figuren anschaulich, worin wieder m n den Gegenstand, $m_1\ n_1$ dessen Bild und **F** den (imaginären) Brennpunkt bedeuten, aber die Richtungen der Strahlen nach der Brechung durch punktirte Linien dargestellt sind, und zwar stellt die Fig. 594 den Fall, wo die Entfernung des Gegenstandes von der Linse eine unendlich große und die Fig. 595 den Fall dar, wo die Ent=

Fig. 594.

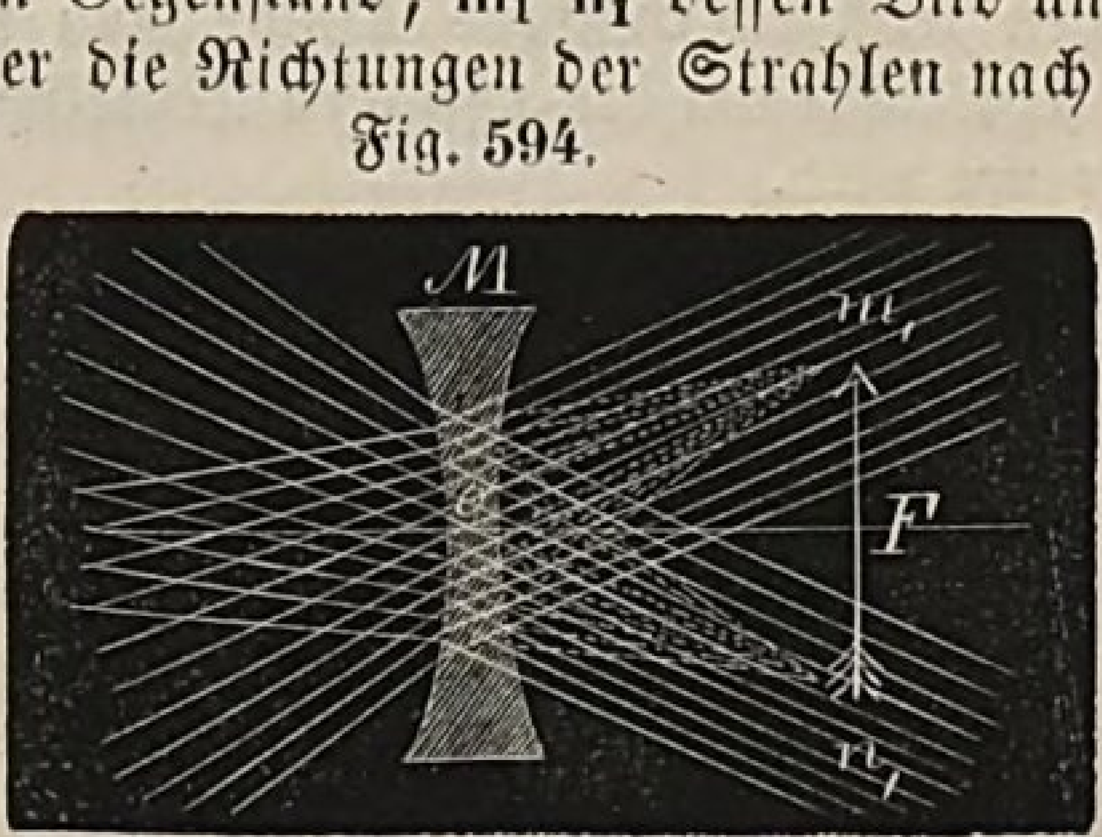
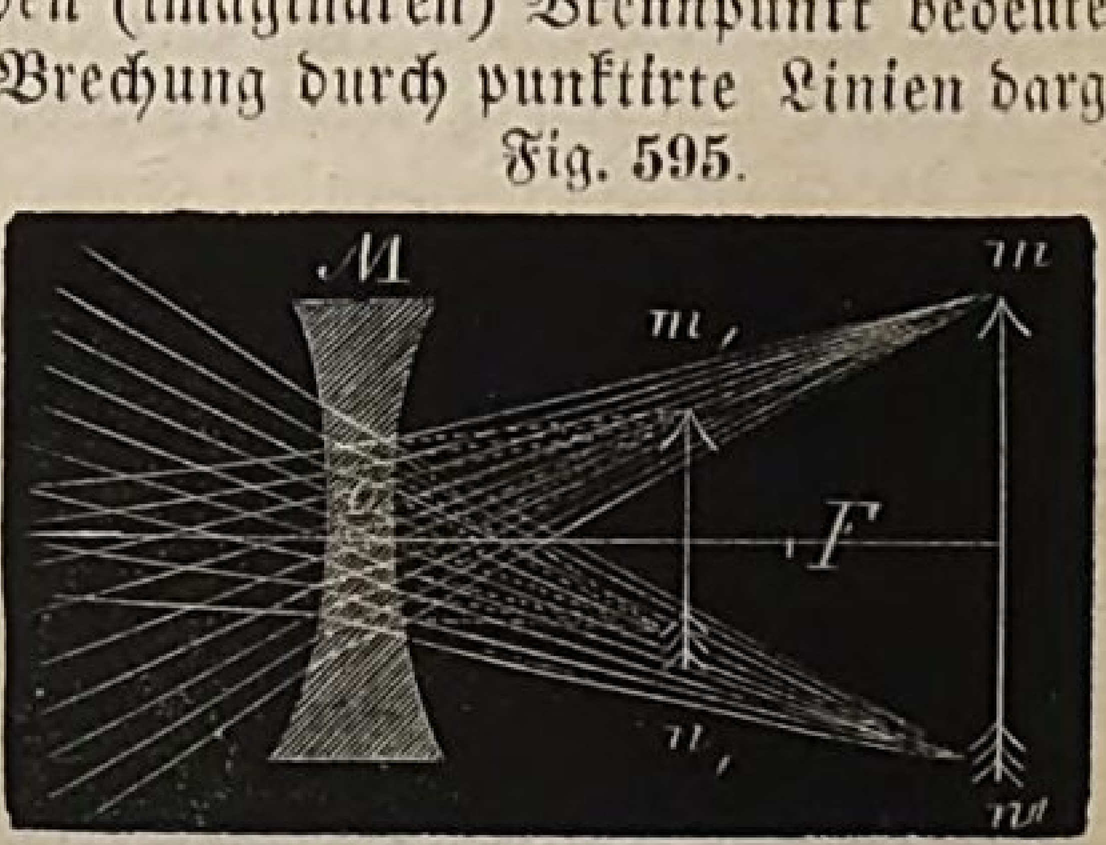


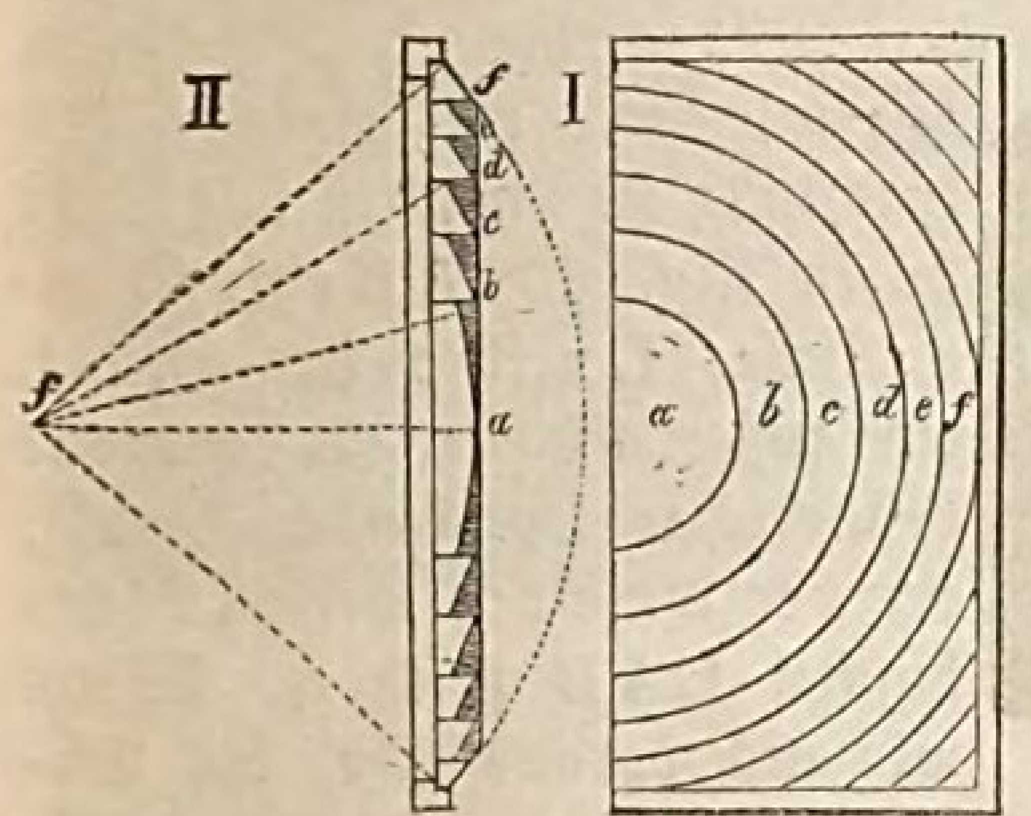
Fig. 595.



fernung eine endliche ist. Da den früheren Betrachtungen gemäß das Bild eines in was immer für einem Abstande von einer Zerstreuungslinse befindlichen leuchtenden Punktes immer mit diesem auf einerlei Seite der Linse, aber in geringerer Entfernung entsteht und (in Fig. 595) offenbar wieder $mn : m_1 n_1 = mo : m_1 o$ ist; so erhellt, daß das durch eine Zerstreuungslinse erscheinende Bild eines leuchtenden Gegenstandes immer aufrecht und kleiner als dieser und zwar desto kleiner sein müsse, je näher es der Linse liegt, je näher mithin an dieser letzteren sich der Gegenstand befindet.

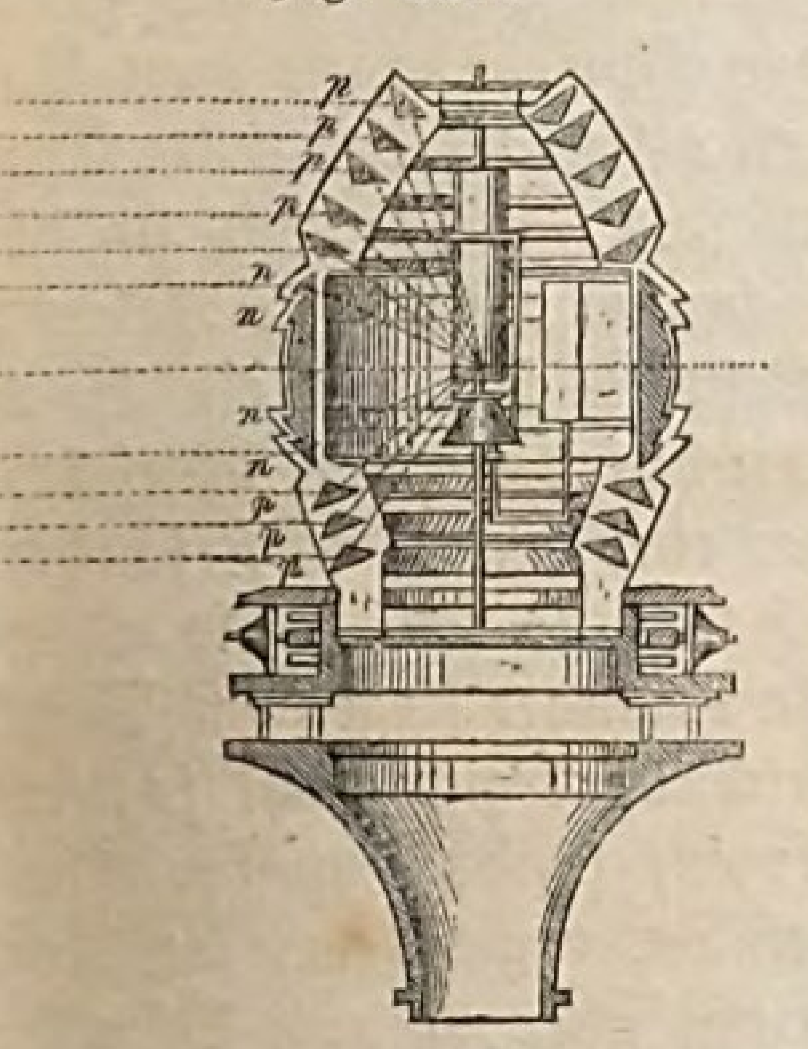
Im Anfange des Absatzes **301** wurde gesagt, daß nur von den sphärischen Linsen gehandelt werden wird, und auch die Ursache davon angegeben. Wir wollen auch in der That die elliptischen, parabolischen Linsen u. s. w. außer Betracht lassen, können aber ihrer praktischen Wichtigkeit wegen die eigenthümlichen Linsen nicht ganz mit Stillschweigen übergehen, welche Fresnel angegeben hat und welche dazu dienen, das Licht der Leuchtthürme zum Behufe der Orientirung der Schiffer u. s. w. meilenweit auf das Meer hinauszuwerfen. Die Fig. 596 zeigt eine solche Linse und zwar bei I, wo nur die eine der durch einen Schnitt durch die Mitte entstehenden Hälften dargestellt ist, in der Frontansicht und bei II im besagten Durchschnitt durch die Mitte. Sie besteht aus einem Kugelsegmente a, um welches herum mehrere Ringe b, c, d u. s. w. angeordnet sind, von denen man in derselben Figur bei II die Querschnitte sieht. Die gekrümmten Flächen dieser Ringe sind so berechnet, daß jeder der letzteren den nämlichen Brennpunkt f wie das Segment a hat, so daß eine in f angebrachte Leuchte ihr ganzes Licht durch die Linse hindurch in einem großen Büschel fast paralleler Strahlen in weite Fernen sendet (die Strahlen wären genau parallel, hätten alle Licht aussendenden Punkte der Leuchte genau dieselbe Focaldistanz wie f). Da das Licht keine andere Schwächung erfährt, als welche in der nur geringen Divergenz der Strahlen eines und desselben Lichtbüschels und in der ebenfalls unbeträchtlichen Divergenz der Axen der den verschiedenen Punkten der Leuchte entsprechenden Lichtbüschel ihren Grund hat; so kann durch die in Rede stehenden Linsen in sehr großen Entfernungen noch entsprechende Beleuchtung erzielt werden. Im ersten Augenblicke könnte man vielleicht glauben, daß auch gewöhnliche Linsen das Nämliche leisten; allein dem ist nicht so, denn gewöhnliche Linsen dürfen nur eine kleine Oeffnung (von 12—15°) haben, während die Ringe der Fresnel'schen Linse so berechnet sind, daß letztere eine mehr als 40° große Oeffnung verträgt, mithin schon deswegen 9mal mehr Licht nach der nämlichen Richtung in die Ferne sendet, ganz abgesehen davon, daß sie auch weniger Licht absorbirt.

Fig. 596.



Auf dem nämlichen Prinzipe beruht auch die Einrichtung der sogenannten Hafenfeuer (feux de ports), die man aus Fig. 597 ersieht. Das Licht wird von einer Argand'schen Lampe geliefert, die in der Stunde 45 Gramme Oel verbrennt und eine 5 Centimeter hohe Flamme gibt. Alle Strahlen dieser Flamme erhalten theils durch Brechung, theils durch Reflexion horizontale Richtungen. Das brechende System besteht aus 5 über einander angebrachten Ringen n, deren äußere Oberfläche eine entsprechende Krümmung hat, und das reflektirende System wird von 8 prismatischen Ringen p gebildet, wovon 5 oben und 3 unten angebracht und welche so eingerichtet und angeordnet sind, daß das Licht an ihren großen Flächen eine totale Reflexion erfährt, während dasselbe durch die andern Flächen unter geringer Schiefe aus- und eintritt. Durch diese Combination wird alles Licht der Lampe in fast horizontaler dünner Schichte nach allen Richtungen hingeworfen.

Fig. 597.

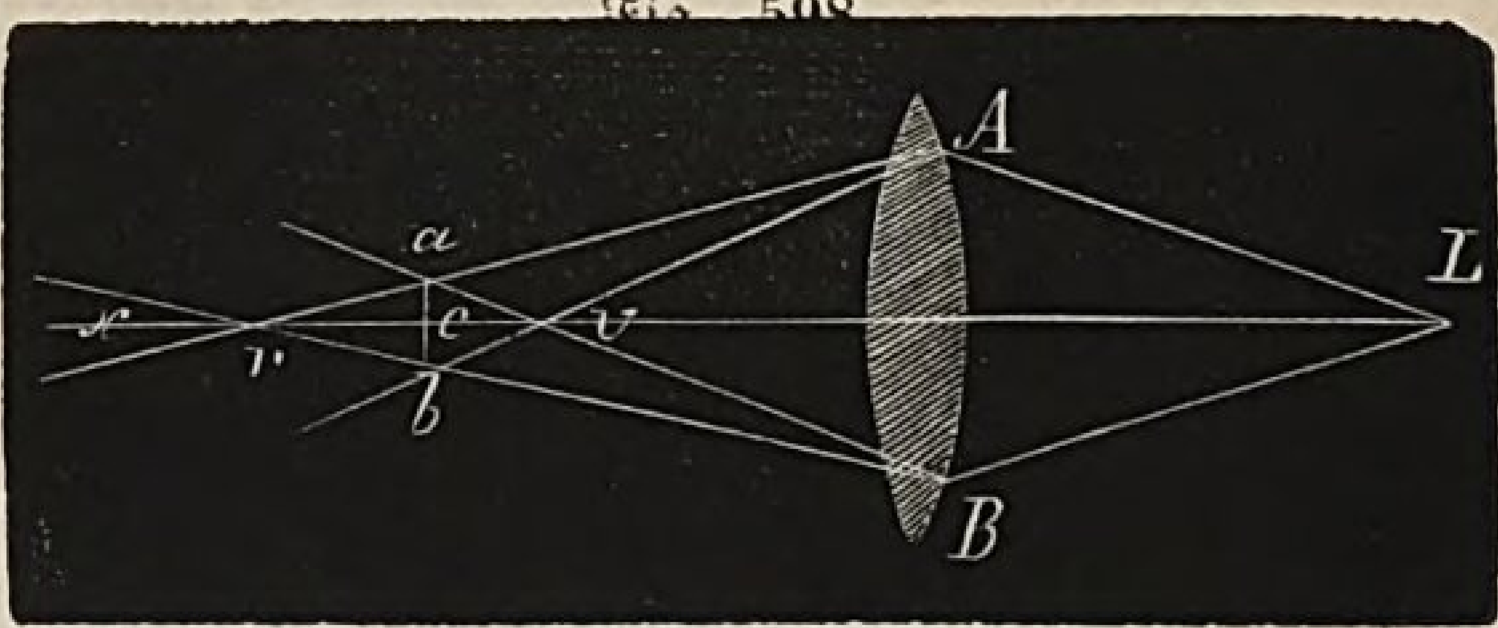


305. Chromatische Abweichung und deren Einfluß auf die Deutlichkeit und Reinheit der durch Linsen erzeugten Bilder.

Wir wissen von früher her, daß jede Brechung von einer Farbenzerstreuung be-

gleitet ist. Demnach erfährt auch jeder Lichtstrahl, während er in einer Linse gebrochen wird, zugleich eine Zerlegung in seine farbigen Bestandtheile. Da diese wegen ihres ungleichen Grades von Brechbarkeit durch die Linse verschieden stark abgelenkt werden, so können die von einem leuchtenden Punkte auf die Linse auffallenden weißen Lichtstrahlen, — welche durch diese, wenn keine Farbenzerstreuung stattfände, (wirklich oder scheinbar) wieder in einen Punkt (also zu einem einzigen Bilde) vereinigt würden, — eine solche Vereinigung nicht mehr erfahren, sondern jede Art homogener Bestandtheile der besagten weißen Lichtstrahlen hat ihren eigenen Vereinigungspunkt, so daß der Vereinigungspunkt aller violeten Bestandtheile dieser Strahlen von jenem aller blauen, dieser wieder von dem aller grünen u. s. f. verschieden ist. Man nennt diese (in der Farbenzerstreuung begründete) Abweichung der von einem leuchtenden Punkte der Linse zugesendeten Strahlen von der Wiedervereinigung in einem einzigen Punkte die chromatische Abweichung, auch die Abweichung wegen der Farbenzerstreuung, und dieselbe übt auf die Reinheit und Deutlichkeit der durch Linsen erzeugten Bilder einen nachtheiligen

Fig. 598.



Einfluß, wie die folgende Betrachtung klar machen wird. Es sei in Fig. 598 **AB** eine Sammellinse, **Lx** ihre Axe und **L** ein außerhalb der Brennweite befindlicher leuchtender Punkt, der der Linse den weißen Lichtbüschel **LAB** zusendet. Wenn wir auch voraussetzen, der Büschel enthalte nur Strahlen, für welche man von der sphärischen Abweichung (S. 654) absehen kann; so werden diese durch die Linse doch nicht in einem einzigen hinter ihr gelegenen Punkte vereinigt, sondern die violeten Bestandtheile aller treffen, da sie am brechbarsten sind, daher von ihrer ursprünglichen Richtung am stärksten abgelenkt werden, z. B. im Punkte **v** zusammen, die rothen Bestandtheile, als die am wenigsten brechbaren, schneiden sich in einem von der Linse weiter entfernten Punkte **r** und die übrigen homogenen farbigen Bestandtheile in zwischen **v** und **r** gelegenen Punkten. Nebstdem durchschneiden sich die farbigen Strahlen auch in außerhalb der Linsenaxe gelegenen Punkten, die alle von **v** bis **r** hin innerhalb der Peripherie des Kreises vom Durchmesser **ab** liegen, welchen man Abweichungskreis nennt. Durch diesen gehen alle von der Linse kommenden Strahlen in verschiedenen Entfernungen vom Umfange bis zum Mittelpunkt **c** desselben hindurch. Unter allen Theilen des Raumes von **r** bis **v**, in welchen die Strahlen zerstreut sind, finden sich in diesem Kreise allein sämmtliche vereinigt; derselbe enthält sonach die stärkste Beleuchtung und erscheint als Bild des leuchtenden Punktes. Befindet sich nun ein leuchtender Gegenstand vor der Linse, so wird im Bilde, welches diese von demselben gibt, nicht jeder seiner Punkte wieder nur durch einen einzigen Punkt, sondern durch den Abweichungskreis dargestellt. Wenn dieser auch noch so klein ist, so nimmt er doch einen Raum ein, und es können daher die den an einander liegenden Punkten des Gegenstandes als Bilder entsprechenden Abweichungskreise nicht so, wie die besagten Punkte selbst, blos sehr nahe an einander liegen, sondern müssen übereinander fallen und sich desto mehr decken, je näher an einander gelegenen leuchtenden Punkten des Gegenstandes sie entsprechen. Dieses bringt aber, indem Strahlen verschiedener leuchtender Punkte sich vermischen, eine Verwirrung hervor, so daß das Bild des Gegenstandes in den einzelnen Theilen nicht scharf begrenzt und überhaupt undeutlich erscheint. Daß eine eben solche, Undeutlichkeit der Bilder verursachende Wirkung der Farbenzerstreuung auch dann vorhanden ist, wenn der Gegenstand innerhalb der Brennweite einer Sammellinse oder vor einer Zerstreuungslinse

sich befindet, und daß sich dieselbe auf ganz gleiche Weise, wie in dem durch Fig. 598 repräsentirten Falle nachweisen läßt, begreift sich nun wohl von selbst. Diese Wirkung der Farbenzerstreuung würde den Bildern alle Deutlichkeit nehmen, wenn das von einem Punkte kommende Licht im ganzen Abweichungskreise gleichmäßig vertheilt würde. Dies findet aber nicht statt, sondern da alle Strahlen von mittlerer Brechbarkeit durch den Mittelpunkt c des Abweichungskreises gehen, während die übrigen über dessen ganzer Fläche verbreitet werden, wird dieser Punkt (c) bei weitem am stärksten beleuchtet, so daß er vorzüglich als Bild des leuchtenden Punktes erscheint.

Die chromatische Abweichung ist aber nicht blos die Ursache der eben besprochenen Undeutlichkeit der Bilder, sondern auch einer eigenen Färbung derselben. Denn ist z. B. m n ein außerhalb der Brennweite einer Sammellinse befindlicher, derselben weißes Licht zusendender Gegenstand, so entsteht auf eine in Fig. 599 anschaulich gemachte Weise hinter der Linse nicht blos ein einziges Bild, wie wir dies bisher immer angenommen haben, sondern es kommen unzählige Bilder in verschiedenen Abständen von der Linse, daher auch von ungleicher Größe, (nämlich durch die Strahlen jeden bestimmten Grades der Brechbarkeit immer ein Bild) zu Stande, worunter vorzüglich sechs, in den prismatischen Hauptfarben erscheinende unterschieden werden können, und zwar so, daß das violete vv′ das der Linse nächste und kleinste, das rothe rr′ das entfernteste und größte ist und die andern, vom ersteren gegen das letztere hin, an Größe allmälig zunehmend, zwischen diesen beiden äußersten darinnen liegen. Indem sich nun diese Bilder in der Mitte decken und daselbst durch ihren Gesammteindruck die Empfindung der weißen Farbe hervorbringen, am Rande hingegen der rothe und gelbe Theil über die andern hervorragt, erscheint das Bild des weißen Gegenstandes nicht in der ganzen Ausdehnung weiß wie dieser, sondern ringsherum am Rande rothgelb gefärbt. Befindet sich der Gegenstand innerhalb der Brennweite des Sammelglases, so muß das mit ihm auf der nämlichen Seite der Linse, aber in größerer Entfernung erscheinende Bild einen blauvioleten Rand zeigen, weil von den unzähligen farbigen Bildern, welche auch in diesem, durch Fig. 600 dargestellten Falle entstehen, das violete und das blaue, die hier die entferntesten und mithin größten sind, alle andern überragen.

Fig. 599.

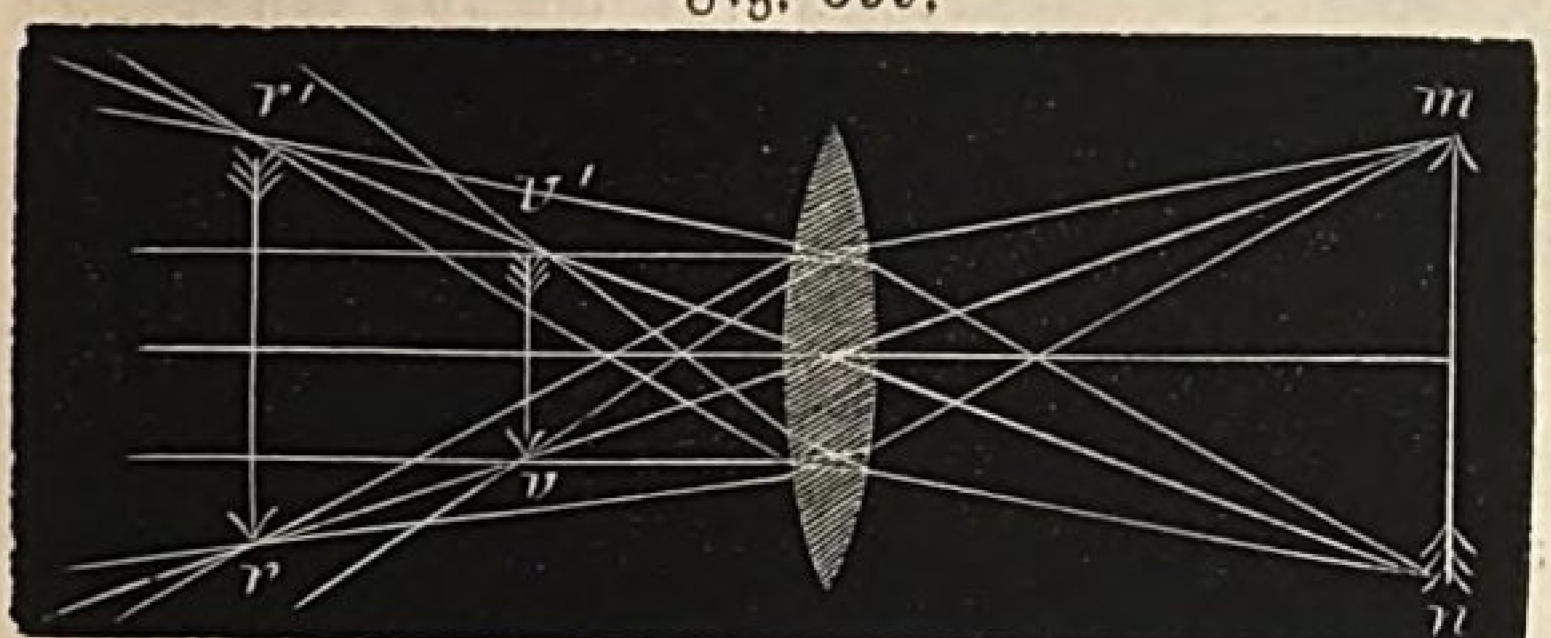
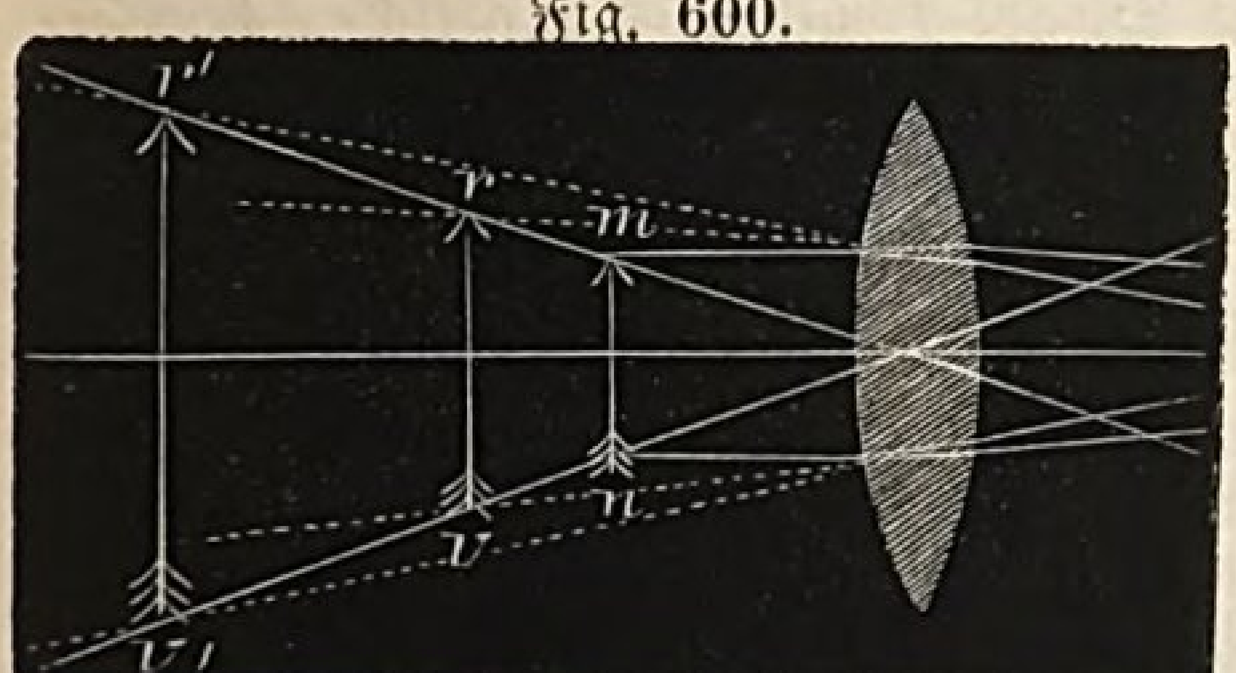


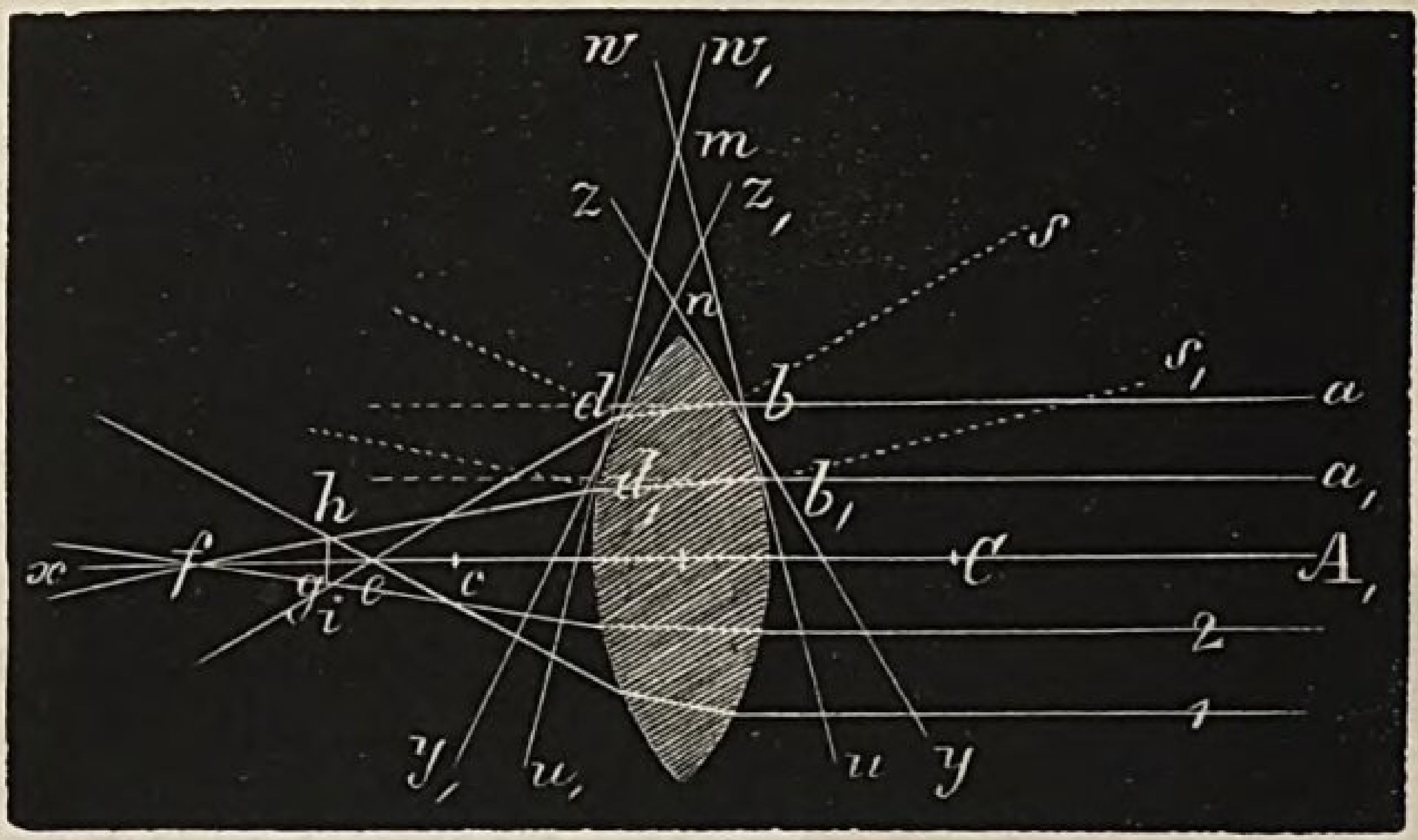
Fig. 600.



306. Nähere Betrachtung der sphärischen Abweichung bei Linsen und Mittel ihren schädlichen Einfluß auf die Deutlichkeit der Bilder zu vermindern. Schon früher (auf S. 654) wurde gelegenheitlich hervorgehoben, daß Strahlen, die in verschiedenen Entfernungen von der Axe auf die biconvexe Linse gelangen, hinter derselben sich nicht in einem und demselben Punkte der Axe vereinigen können, sondern daß sie dies in einem desto näher an der Linse gelegenen Punkte thun, je weiter von der Axe (und mithin je näher gegen den Rand der Linse hin) sie auffallen. Das Nämliche findet auch in allen andern von uns bei Linsen betrachteten Fällen statt: es werden durch die

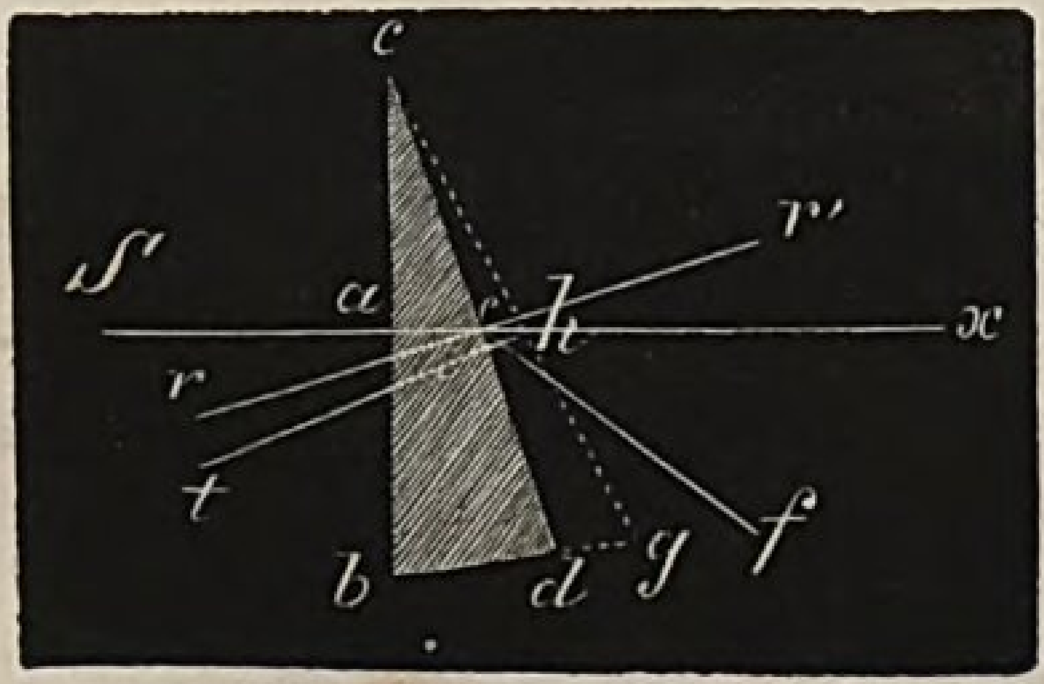
Brechung immer nur jene Strahlen (wirklich oder scheinbar) in einem einzigen Punkte vereinigt, welche in gleichen Entfernungen von der Axe (oder vom Hauptstrahle, wenn sie von einem außerhalb der Axe gelegenen Punkt herkommen) auf die Linse treffen. Den Grund hievon wird man nach Folgendem einsehen. Sind in Fig. 601 **ab** und $a_1\,b_1$ parallel zur Axe $A_1\,x$ der Sammellinse auffallende Strahlen, man zieht zu ihren Einfallspunkten **b** und b_1 die Berührungsebenen **yz** und **uw** und errichtet die Einfallslothe **bs** und $b_1\,s_1$, so zeigt sich der Einfallswinkel für den Strahl **ab** größer als für den Strahl $a_1\,b_1$; es muß daher für ersteren Strahl auch der Brechungswinkel größer sein als für den letzteren, d. h. es wird in der Linse der Strahl **ab** von der ursprünglichen (punktirt dargestellten) Richtung weniger stark abgelenkt als der Strahl $a_1\,b_1$, so daß der erstere z. B. nach **d** und der letztere nach d_1 hin geht. Zieht man nun auch zu diesen Austrittspunkten (d, d_1) die Berührungsebenen $y_1\,z_1$ und $u_1\,w_1$, so begreift man, daß die zwei Strahlen bei ihrem Austritte aus der Linse gerade so gebrochen werden, als wären sie durch zwei Prismen gegangen, deren Seitenflächen die Berührungsebenen der Ein- und Austrittspunkte sind, und zwar als wäre der Strahl **ab** durch ein Prisma vom brechenden Winkel **n** und der Strahl $a_1\,b_1$ durch ein Prisma von einem kleineren brechenden Winkel **m** gegangen. Nun wird aber ein Strahl bei einer und derselben Einfallsrichtung von dieser unter sonst gleichen Umständen durch ein Prisma desto mehr abgelenkt, einen je größeren brechenden Winkel dieses hat *); es muß daher der Strahl **ab** nach seinem Austritte aus der Linse deren Axe in einem näher an der Linse gelegenen Punkt **e** durchschneiden, als der Strahl $a_1\,b_1$, so daß dieser mit der Axe z. B. im Punkte **f** zusammentrifft. Da in **e** überdies auch alle Strahlen die Axe schneiden, welche wie z. B. der Strahl 1 mit **ab** in gleicher Entfernung von derselben rings um sie herum auffallen, da ferner alle Strahlen in **f** eintreffen, welche, gleich dem Strahle 2, eben so weit von der Axe entfernt wie $a_1\,b_1$, auf die Linse gelangen, und da endlich die Strahlen, welche in Entfernungen von der Linsenaxe auffallen, die zwischen der Entfernung des Strahles **ab** und jener

Fig. 601.



*) Die Richtigkeit dessen ergibt sich bei Betrachtung der Fig. 602, in welcher **Sax** die Richtung eines senkrecht auf die eine Seitenfläche **bc** eines Prismas **bcd** fallenden Strahles vorstellt. Derselbe tritt ungebrochen in das Prisma ein, trifft an die zweite Seitenfläche **cd** unter dem Einfallswinkel **aer** und tritt z. B. unter dem Brechungswinkel **r'ef** wieder aus dem Prisma aus. Würde der brechende Winkel **bcd** des Prismas bis zu **bcg** vergrößert, wie es die punktirten Linien anzeigen, so würde **h** der Einfallspunkt des Strahles, es wäre dann der Einfallswinkel **aht** und mithin auch der Brechungswinkel größer, der Strahl würde also von seiner ursprünglichen Richtung mehr abgelenkt als vorher.

Fig. 602.

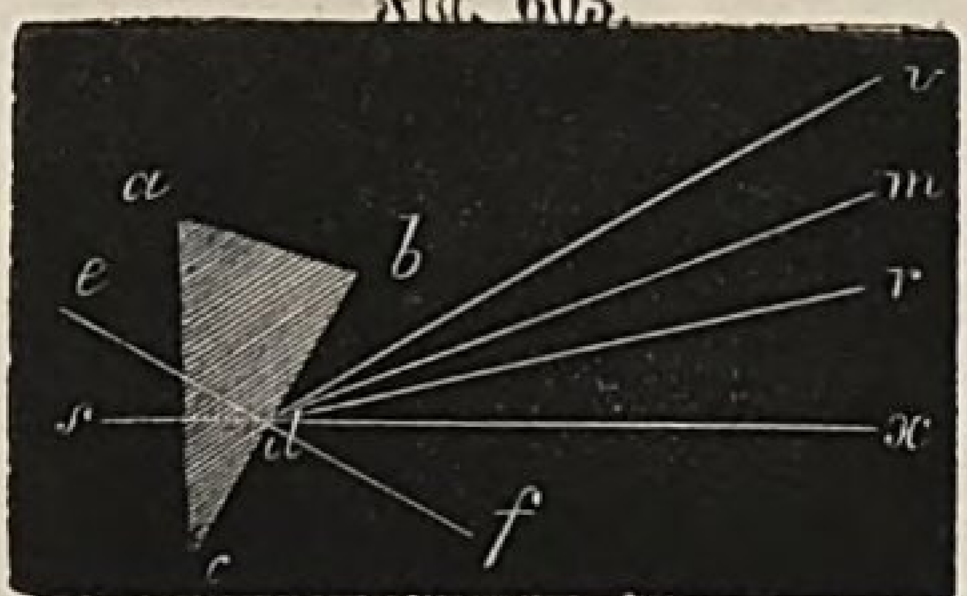


des Strahles $a_1\,b_1$ liegen, nicht nur in Punkten zwischen e und f in der Axe, sondern auch in Punkten außerhalb letzterer sich durchkreuzen werden; so sieht man, daß auch hier eine Abweichung der Strahlen eines leuchtenden Punktes von der Vereinigung wieder in einem einzigen Punkte stattfinden müsse, und diese Abweichung ist die sogenannte sphärische Abweichung oder Abweichung wegen der Kugelgestalt der Linse. Alle besagten Strahlen durchkreuzen sich offenbar innerhalb der Peripherie eines kleinen Kreises vom Durchmesser g h, welcher Kreis Abweichungskreis heißt und ganz so wie der chromatische Abweichungskreis in dem durch eine Linse erzeugten Bilde eines leuchtenden Gegenstandes die Stelle des Punktes vertritt, welcher dem betreffenden leuchtenden Punkt des Gegenstandes entspricht. Daß demnach die sphärische Abweichung die Deutlichkeit des Bildes aus gleichem Grunde, wie die chromatische Abweichung beeinträchtigt, (nämlich wegen des stattfindenden theilweisen Uebereinanderfallens und Deckens der den Punkten des leuchtenden Gegenstandes entsprechenden Abweichungskreise und der daraus entstehenden Verwirrung) und daß bei Zerstreuungslinsen, so wie bei Sammellinsen, der leuchtende Gegenstand mag inner- oder außerhalb der Brennweite sich befinden, die sphärische Abweichung unter gleichen Umständen eintrete, bedarf gewiß keiner besonderen Nachweisung. Da die eben besagte, aus dem theilweisen Uebereinanderfallen der Abweichungskreise entspringende Beeinträchtigung der Deutlichkeit der Bilder offenbar desto geringer ist, je kleiner die Abweichungskreise sind (je mehr jener Raum, in welchem die von einem leuchtenden Punkte ausgegangenen Strahlen durch die Linse vereinigt werden, bezüglich seiner Ausdehnung sich wieder einem einzigen Punkte nähert); so wird durch jedes Mittel, welches eine Verkleinerung der Abweichungskreise bewirkt, auch die Reinheit und Deutlichkeit der Bilder erhöht. Solche Mittel sind aber: 1. Verminderung der Oeffnung der Linse (d. i. des dem Lichte zum Durchgange dargebotenen Theiles der Linsen-Fläche), so daß nur nahe um den optischen Mittelpunkt herum Strahlen durchgelassen und die weiter gegen den Linsenrand hin auffallenden durch einen diesen Rand bedeckenden, undurchsichtigen Ring, Blendung genannt, abgehalten werden. Der bloße Anblick der früheren Fig. 601 lehrt dies. Denn offenbar würde der Durchschnittspunkt e der Strahlen a b und 1, unter sonst gleichen Umständen, wenn diese in größerer Entfernung von A_1 x, also näher am Rande der Linse auffielen, bei unverändert bleibender Lage des Brennpunktes f näher an die Linse rücken, mithin der Durchmesser g h des Abweichungskreises größer werden, und im entgegengesetzten Falle, wenn nämlich a b und 1 näher an A_1 x durch die Linse giengen, würde e weiter von letzterer entfernt liegen, der besagte Durchmesser also kleiner ausfallen. 2. Anwendung einer Linse von größerer Brennweite. Denkt man sich der Linse in Figur 601 eine Linse mit größerer Brennweite substituirt, so würden bei der nämlichen Entfernung der Strahlen a b und 1, dann $a_1\,b_1$ und 2 von der Axe A_1 x der Linse die Punkte e und f weiter entfernt von dieser zu liegen kommen, daher der Durchmesser g h kleiner. Demnach geben Linsen von größeren Brennweiten, selbst bei bedeutend größerer Oeffnung, eben so deutliche, zugleich aber viel lichtstärkere, hellere Bilder, als Linsen von kleinen Brennweiten bei kleinerer Oeffnung. Bei einem und demselben Materiale der Linse ist die sphärische Abweichung auf der Axe dem Quadrate der Oeffnung der Linse direkt und der Brennweite umgekehrt proportional. 3. Bei derselben Oeffnung und Brennweite der Linse läßt sich die sphärische Abweichung durch das Verhältniß der Halbmesser beider Krümmungen vermindern. Man kann sich leicht durch eine Zeichnung überzeugen, daß die Abweichung abnimmt, wenn die Linse auf der vom Gegenstande abgewendeten Seite eine geringere Krümmung erhält. Diese Abnahme geht bis zu einer gewissen Grenze. Die Formel $\frac{r}{R} = \frac{4 + n - 2n^2}{2n^2 + n}$ gibt das Ver-

hältniß der Krümmungshalbmesser einer Linse von kleinster sphärischer Abweichung für parallele Strahlen unter der Voraussetzung an, daß r den Halbmesser der vordern (dem leuchtenden Gegenstande zugewendeten), R jenen der hintern Linsenfläche und n den Brechungsindex des Materials der Linse bedeutet. Eine Linse mit dem dieser Formel entsprechenden Verhältnisse der Krümmungshalbmesser heißt eine Linse von bester Form. Planconvex- und Planconcavlinsen kommen bezüglich der Abweichung einer doppelt convexen und doppelt concaven Linse von bester Form am nächsten, wenn die gekrümmte Fläche gegen das Object gerichtet ist; erzeugen hingegen die größte Abweichung, wenn sie ihre Planseite dem Gegenstande zukehren. Nach Herschel läßt sich durch zwei nahe aneinandergestellte Linsen die sphärische Abweichung vollständig heben. Wenn die Krümmungen von drei Flächen einer Doppellinse gegeben sind, kann die vierte durch Rechnung immer so bestimmt werden, daß die besagte Abweichung völlig wegfällt.

307. Aufhebung der chromatischen Abweichung (Achromatismus). Um gehörig einzusehen, wie der in **305** auseinandergesetzte schädliche Einfluß behoben werden könne, den die chromatische Abweichung auf die Reinheit und Deutlichkeit der durch Linsen zu Stande kommenden Bilder nimmt und welcher größer ist als jener der sphärischen Abweichung, weil der chromatische Abweichungskreis den sphärischen an Größe bedeutend übertrifft, muß Folgendes vorausgeschickt werden. Ist **abc** (Fig. 603) ein Glasprisma und **sx** ein auffangender Strahl, welcher der Einfachheit der Betrachtung wegen, die Fläche **ac** senkrecht treffen, mithin erst im Punkte d der zweiten Fläche eine Brechung erfahren soll; so wird er hier zugleich in seine farbigen Bestandtheile zerlegt. Stellt von diesen dr den äußersten rothen, dv den äußersten violeten, dm den Strahl von mittlerer Richtung zwischen beiden und ef das Einfallsloth zu d vor; so heißt der Strahl dm der mittlere gebrochene Strahl, sein Brechungswinkel mdf der mittlere Brechungswinkel und der Winkel rdv, welcher die Größe der Farbenzerstreuung bestimmt, heißt der Zerstreuungswinkel. Der mittlere gebrochene Strahl und der mittlere Brechungswinkel wurden in den früheren Fällen, wo wir den gebrochenen Strahl als einfach betrachteten, immer gemeint, wenn schlechtweg vom gebrochenen Strahl und vom Brechungswinkel die Rede war.

Fig. 603.

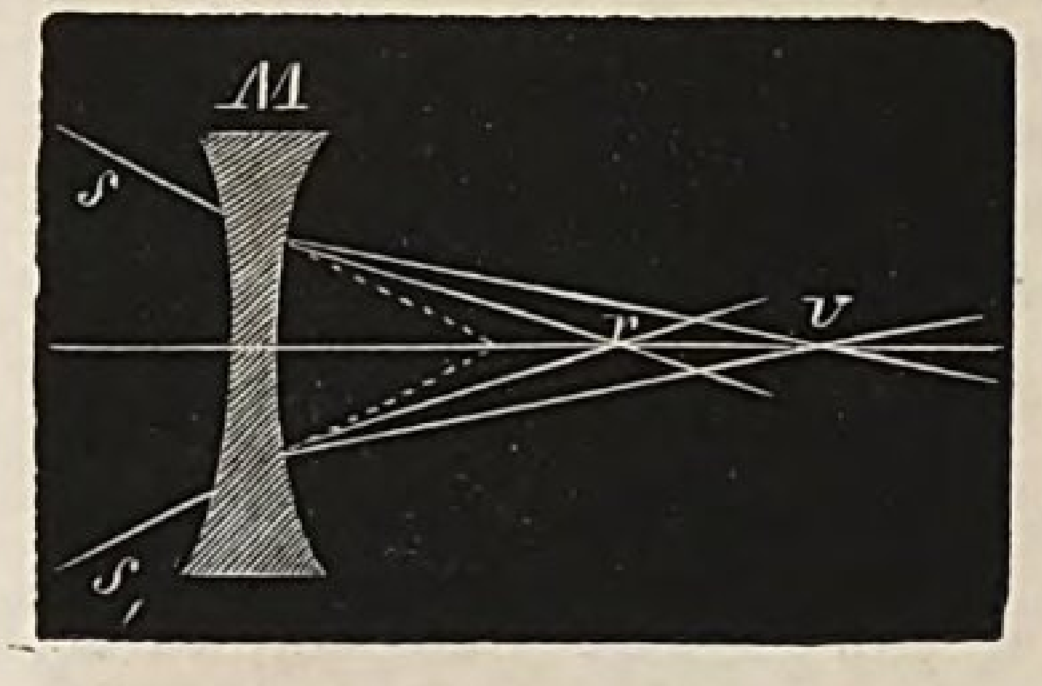


Der Erfahrung gemäß ist für das nämliche Mittel, also für eine und dieselbe Art von Glas, der Zerstreuungswinkel jederzeit dem mittleren Brechungswinkel proportional, d. h. bei Zunahme des Brechungswinkels, zu Folge Vergrößerung des Einfallswinkels oder des brechenden Winkels des Prismas, wird auch der Zerstreuungswinkel größer. Nicht so ist es bei verschiedenen Mitteln. In der Regel bewirkt zwar z. B. eine Glasart, die eine stärkere mittlere Brechung hervorbringt, auch eine größere Zerstreuung; allein letztere wächst mit ersterer nicht in dem nämlichen Verhältnisse. So ist, — wenn man einem Prisma aus Crown- oder Spiegelglas eines aus dem das Licht stärker brechenden Flintglase substituirt und diesem einen um so viel kleineren brechenden Winkel gibt, daß für dasselbe der mittlere Brechungswinkel die gleiche Größe hat, wie früher bei dem Crownglasprisma, — ungeachtet dieser Gleichheit doch jetzt der Zerstreuungswinkel größer als vorher. Von zwei verschiedenen Mitteln wird demnach die Zerstreuung desjenigen größer sein, für welches bei gleichem mittleren Brechungswinkel der Zerstreuungswinkel (oder auch, bei welchem dieser letztere Winkel im Verhältnisse zum ersteren) größer ist. Die relative Größe der Zerstreuung eines Mittels wird also durch die Größe des Zerstreuungswinkels im Verhältnisse zu dem mittleren Brechungswinkel gege-

ben. Die Zahl, welche man erhält, wenn man bei der Zerstreuung durch ein bestimmtes Mittel den Brechungsexponenten (n_1) des äußersten rothen von dem Brechungsexponenten n_2 des äußersten violeten Strahles abzieht und diese Differenz durch den um 1 verminderten Exponenten (n) der mittleren Brechung dividirt, also der Bruch $\frac{n_2 - n_1}{n - 1}$ heißt das Zerstreuungsvermögen oder die Zerstreuungskraft des betreffenden Mittels, und das Verhältniß der Zerstreuungskräfte zweier verschiedenen Mittel, z. B. zweier verschiedenen Glasarten wird das Zerstreuungsverhältniß dieser Gläser in Bezug auf einander genannt. Für Crown- und Flintglas (welche Gläser in der praktischen Optik eine Hauptrolle spielen) wird dieses Zerstreuungsverhältniß gewöhnlich so ausgedrückt, daß man die Zerstreuungskraft des Flintglases = 1 setzt . . . (†). Wäre z. B. bei Crownglas von bestimmter Beschaffenheit der Brechungsexponent für den violeten Strahl 1·56, für den rothen 1·54 und für den mittleren 1·55, ferner bei Flintglas gewisser Art dieser Exponent für den violeten Strahl 1·595, für den rothen 1·565 und für den mittleren 1·58 gefunden worden (wie dies geschieht, wird an einem späteren Orte gelehrt werden); so ist $\frac{1·56 - 1·54}{1·55 - 1} = 0·0363$ der Werth des Zerstreuungsvermögens für das Crownglas, und $\frac{1·595 - 1·565}{1·58 - 1} = 0·0517$ jener für das betreffende Flintglas. Das Zerstreuungsverhältniß dieser beiden Gläser ist daher 0·0517 : 0·0363 und mit Rücksicht auf (†) $1 : \frac{0·0363}{0·0517} = 1 : 0·704$ oder das Zerstreuungsverhältniß beider Gläser ist = 0·704. Das auf letztere Art ausgedrückte Verhältniß ist dasjenige, welches bei Berechnung achromatischer Linsen (von welchen gleich nachher gehandelt werden soll) gebraucht wird. Das Zerstreuungsverhältniß eines bestimmten Flint- und Crownglases ist = 0·704 heißt also, die Zerstreuungskraft des ersteren Glases verhält sich zu jener des letzteren wie 1 : 0·704. Endlich müssen wir noch einmal auf die frühere Figur 598 zurückkommen. Die bloße Betrachtung derselben lehrt, daß die Größe der chromatischen Längenabweichung **v r** mit der Brennweite der Linse zunimmt, hingegen der Durchmesser **a b** des chromatischen Abweichungskreises kleiner wird, wenn die Brennweite wächst. Offenbar würden, wenn man sich der Linse (in Figur 598) eine von größerer Brennweite unter sonst gleichen Umständen substituirt denkt, die Durchschnittspunkte **v** und **r** der betreffenden Strahlen weiter entfernt von der Linse zu liegen kommen, daher bei gleicher Größe des Zerstreuungswinkels ein größeres Stück der Axe **L x** zwischen sich enthalten, und zugleich würden wegen der größeren Schiefe, unter welcher dann die besagten Strahlen mit der Linsenaxe zusammenträfen, die Durchschnittspunkte **a** und **b** näher an diese Axe fallen . . . . (161)

Nach diesen Prämissen kann nun zur Auseinandersetzung des Mittels, die chromatische Abweichung wegzuschaffen, geschritten werden, welches in der Anwendung einer sogenannten achromatischen d. h. von der chromatischen Abweichung freien Linse besteht. Es ist dies in den meisten Fällen eine Doppellinse, zusammengesetzt aus einer Sammellinse von Crown- und einer Zerstreuungslinse von Flintglas. Wie und unter welchen Bedingungen durch eine solche Combination die chromatische Abweichung aufgehoben werden könne, wird aus Nachstehendem klar werden. Aus Früherem (Fig. 598) her wissen wir, daß bei einer Sammellinse von einem Strahle, den ein außerhalb der Brennweite befindlicher leuchtender Punkt der Linse zusendet, der äußerste violete Bestandtheil hinter der Linse, deren Axe in einem Punkt **v**, der näher an der Linse liegt, der rothe Bestandtheil aber in einem entfernteren Punkte **r** durchschneidet. Fallen auf eine Zerstreuungslinse **M** (Fig. 604)

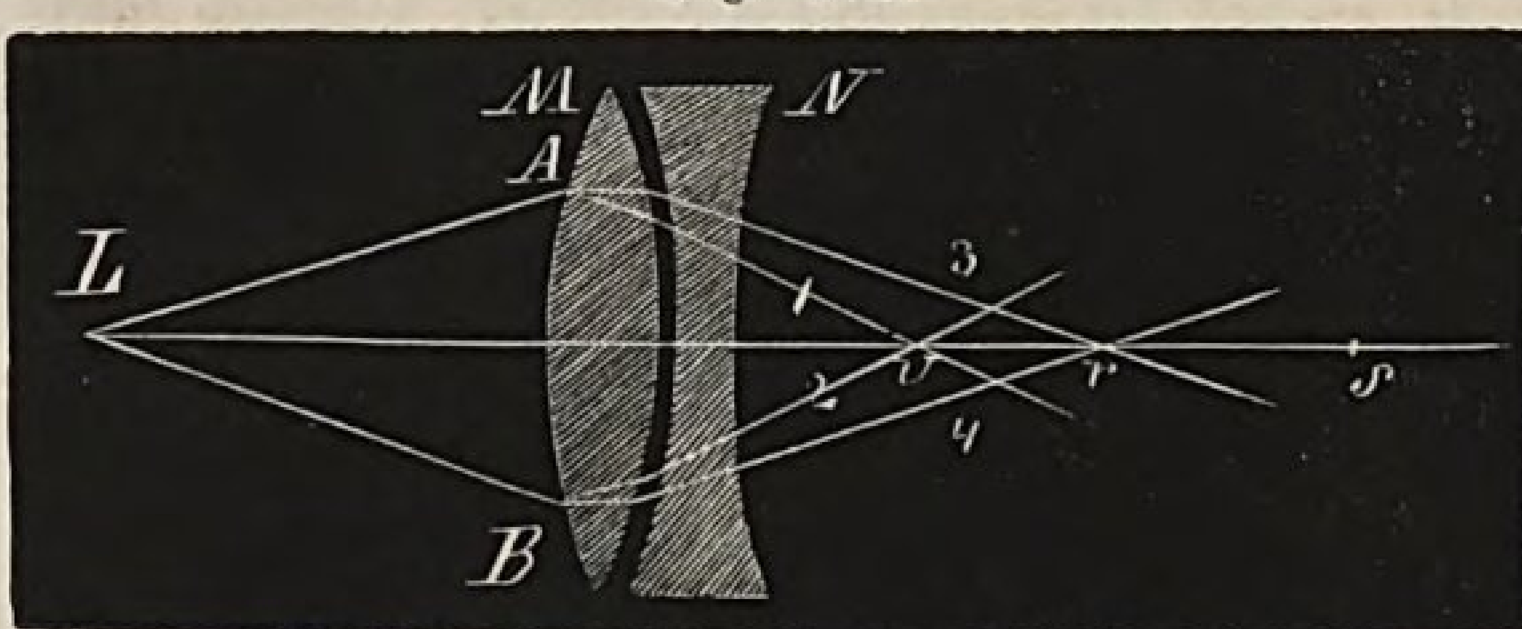
Fig. 604.



convergente Strahlen s, s_1 so auf, daß sie durch die Brechung nur weniger convergent werden, also hinter der Linse mit deren Axe zusammentreffen, so thun dies offenbar die violeten Bestandtheile, weil sie am brechbarsten sind, mithin am meisten von der ursprünglichen Richtung abgelenkt werden, in einem am weitesten von der Linse entfernt gelegenen Punkte v, und die am wenigsten brechbaren rothen Strahlen durchschneiden die Axe am nächsten an der Linse z. B. in r. Es erhalten daher bei der Zerstreuungslinse die besagten farbigen Strahlen gerade die umgekehrte Lage von jener bei der Sammellinse, und man sieht ein, daß, wenn hinter einer Sammellinse eine Zerstreuungslinse angebracht wird, damit die aus der ersteren austretenden Strahlen convergent an die letztere treffen, unter gewissen Bedingungen die von der Sammellinse bewirkte Zerstreuung der farbigen Bestandtheile durch die entgegengesetzte Wirkung, welche die Zerstreuungslinse auf diese Bestandtheile bezüglich ihrer Lage gegen die Axe übt, wieder aufgehoben werde, indem, — vorausgesetzt, die Axen beider Linsen fallen in eine und dieselbe Linie zusammen, — durch entsprechende Beschaffenheit und Einrichtung der Linsen sicherlich bewirkt werden kann, daß durch das Zerstreuungsglas der rothe Strahl gerade wieder um eben so viel der Axe genähert oder der violete Strahl von derselben entfernt wird, als durch die Zerstreuung im Sammelglase der erstere von der Axe entfernt oder der letztere derselben näher gebracht worden, so daß die farbigen Strahlen wieder in ihre ursprüngliche Lage zusammen geworfen, d. i. zu einem Büschel paralleler Strahlen vereinigt werden, das, wenn es ins Auge gelangt, so wie vor seinem Eintritte in die Linsencombination die Empfindung des weißen Lichtes anregt.

Zu noch weiterer Verdeutlichung des in Rede stehenden Gegenstandes diene die Fig. 605. Werden die aus der Sammellinse **M** austretenden farbigen Bestandtheile der vom leuchtenden Punkte **L** auf diese Linse gelangenden Strahlen **LA** und **LB** mit dem Zerstreuungsglase **N** aufgefangen, so macht dieses sowohl die convergent auffallenden violeten Strahlen 1, 2 als die convergenten rothen 3, 4 weniger convergent, so daß die Durchschnittspunkte v und r dieser Strahlen weiter von der Linse hinwegrücken.

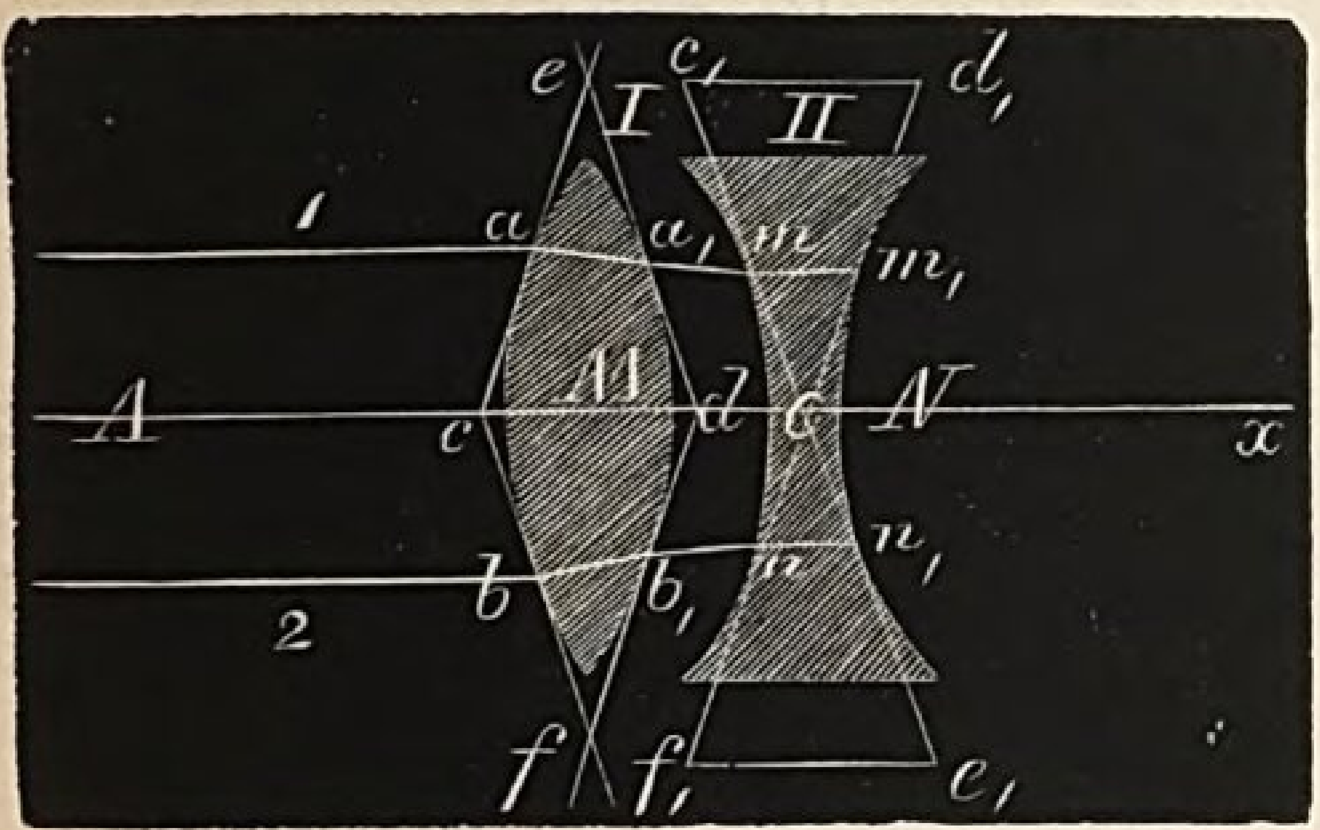
Fig. 605.



Da aber diese zerstreuende, (die Convergenz vermindernde) Wirkung von **N** bei den brechbarern violeten Strahlen größer ist als bei den minder brechbaren rothen, so wird offenbar die Wegrückung des Punktes v von der Linse mehr betragen als jene des Punktes r und es wird, unter gewissen (später zu erörternden) Bedingungen, der erstere Punkt den letzteren gleichsam einholen können, so daß beide z. B. im Punkte s zusammenfallen, die violeten Strahlen also zu den rothen parallel werden. Daß Aehnliches auch mit den anderen farbigen Bestandtheilen geschehen könne, versteht sich von selbst. Die nun als möglich nachgewiesene Aufhebung der Farbenzerstreuung bei Linsen läßt sich aber in einer dem Zwecke der letzteren (Lichtstrahlen in einer andern Richtung, als sie von ihrer Quelle aus haben, sonst aber in unverändert ursprünglicher Beschaffenheit dem Auge zuzuleiten) entsprechenden Weise nur durch eine Doppellinse bewerkstelligen, bei welcher die beiden combinirten Theile aus verschiedenen, rücksichtlich des Brechungs- und des Zerstreuungsvermögens ungleichen

Glassorten bestehen. Um diese und auch noch andere Bedingungen der Herstellung achromatischer Linsen (der Erzielung des Achromatismus bei Linsen) gehörig einzusehen, erinnern wir nur, daß man (siehe die frühere Figur 601) die Punkte, an welchen ein Strahl in eine Linse ein- und wieder aus derselben austritt, als einem Prisma angehörig betrachten kann, welches die Berührungsebenen dieser Punkte zu Seitenflächen hat. Ist demnach

Fig. 606.



M (Fig. 606) eine convexe und N eine concave Linse, und es treten die bei a und b auf M auffallenden Strahlen 1 und 2 bei a_1, b_1 wieder aus; sind ferner m, n und m_1, n_1 die Ein- und Austrittspunkte dieser Strahlen für das Zerstreuungsglas N und stellen die Linien ce, de, cf, df, c_1o, d_1o, f_1o, e_1o Berührungsebenen aller der Ein- und Austrittspunkte vor: so ist die Wirkung der beiden Linsen auf den Strahl 1 genau die nämliche, als gienge dieser (auf dem Wege a, a_1 m, m_1) durch die beiden Prismen ced (I) und c_1od_1 (II) hindurch. Bezüglich dieser Wirkung sind aber verschiedene Fälle möglich. 1. Haben beide Prismen gleiche Brechungs- und gleiche Zerstreuungsvermögen, und sind ihre brechenden Winkel ced und c_1od_1 gleich oder was dasselbe ist, besitzen beide Linsen die nämliche brechende und die nämliche farbenzerstreuende Kraft, bestehen sie also aus einerlei Art Glas und haben gleiche Krümmungen; so wird der bei m_1 austretende Strahl mit dem auffallenden 1 parallel fortgehen und farblos erscheinen, weil die Brechung und Farbenzerstreuung, die er im Prisma I oder in der Convexlinse erfährt, durch die gleich große, aber in entgegengesetztem Sinne statt findende Brechung und Zerstreuung im gegen I verkehrten Prisma II oder in der Concavlinse wieder aufgehoben wird. Es bilden nämlich in diesem Falle die zwei Prismen zusammen ein vierseitiges Prisma mit parallelen Seiten und die zwei Linsen ein Glas mit concentrischen, also auch parallelen Seitenflächen (nach Art der Taschenuhrgläser), bei welchen, wie die Erfahrung lehrt, jeder austretende Strahl dem eintretenden parallel und farblos (unzerlegt) fortgeht *). 2. Haben beide Prismen gleiche brechende Winkel oder beide Linsen gleiche Krümmungen, wie vorher, das Prisma II oder die Concavlinse aber ein größeres Brechungs- und Zerstreuungsvermögen als das Prisma I oder die Convexlinse; so wird der bei m_1 austretende Strahl gefärbt sein; denn es wird dann durch Wirkung des Prismas II nicht blos die entgegengesetzte Wirkung des Prisma I aufgehoben, sondern es bleibt von ersterer noch ein Ueberschuß, es findet also noch Brechung und Farbenzerstreuung statt. Haben also beide Linsen gleiche Krümmungen und besteht die Convexlinse aus Crownglas, die Concavlinse hingegen aus Flintglas, welches ein größeres Brechungs- und Zerstreuungsvermögen hat als ersteres, so erhält der Strahl durch die Doppellinse eine Ablenkung sowohl von seiner ursprünglichen Richtung als von der Axe Ax, — so daß er mit dieser nirgend wirklich zu-

---

*) An einem spätern Orte wird dieser Satz auch theoretisch bewiesen. Es wird dort nämlich gezeigt werden, daß jeder durch ein von parallelen Flächen begrenztes durchsichtiges Mittel gehender Strahl beim Austritte aus demselben seiner Eintrittsrichtung wieder parallel werden müsse. Hieraus folgt aber von selbst, daß der aus dem besagten Mittel austretende Strahl farblos (unzerlegt) sei; denn werden alle farbigen Theile, in welche der Strahl beim Eintritte zerlegt wird, beim Austritte der Eintrittsrichtung, also auch unter einander parallel, wie sie es im auffallenden Strahle waren, so müssen sie auch die nämliche Farbenempfindung hervorbringen, wie dieser.

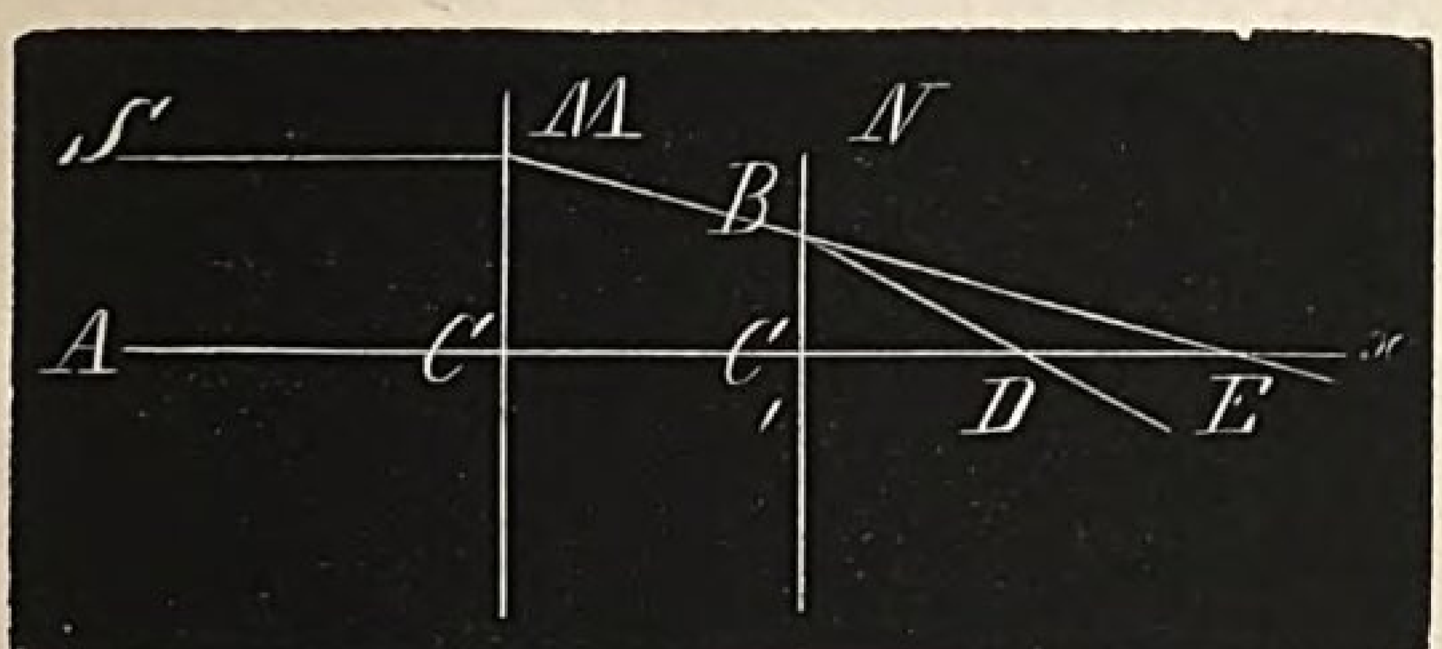
sammentrifft, also hinter der Doppellinse von einem vor ihr befindlichen leuchtenden Punkte kein Bild zu Stande kommen kann —, und eine Färbung; erstere (die Ablenkung) zu Folge des Ueberschusses an brechender, und letztere (die Färbung) zu Folge Ueberschusses an zerstreuender Kraft, welchen die Concavlinse im Verhältnisse zur Convexlinse besitzt. 3. Hätten beide Prismen ungleiche Winkel oder, was gleichbedeutend ist, beide Linsen ungleiche Krümmungen, und zwar wäre der Winkel des Prismas oder die Krümmung der Linse aus Flintglas so viel kleiner, daß die Größe der Brechung in beiden Prismen oder Linsen gleich ist; so würde das Prisma **II** oder das Concavglas die durch das Prisma **I** oder die Convexlinse bewirkte Brechung wieder aufheben, mithin durch die Doppellinse der Zweck aller Linsen, (Aenderung der Richtung der Strahlen durch Brechung) eben so wenig, wie im Falle unter 1. erreicht werden. Ist aber 4. der brechende Winkel des Prismas **II** oder die Krümmung der Flintglaslinse so viel kleiner als bei dem Prisma **I** oder der Crownglaslinse, daß die Größe der Zerstreuung beider Prismen oder Linsen gleich ist; so wird der Strahl bei m_1 ungefärbt austreten, weil die von dem Prisma oder von der Linse aus Crownglas bewirkte Farbenzerstreuung durch die entgegengesetzte und gleich große Farbenzerstreuung des Prismas oder der Linse aus Flintglas aufgehoben wird. Allein es bleibt dem Prisma **I** oder der Convexlinse noch ein Ueberschuß an Brechung (nach Seite 667 ist nämlich bei verschiedenen Glasarten die Größe der Brechung jener der Zerstreuung nicht proportional, so daß letztere bei Zu- oder Abnahme der ersteren nicht auch in gleichem Verhältnisse zu- oder abnimmt). Die durch das Convexglas bewirkte Convergenz der einfallenden Strahlen wird durch die Divergenz, welche die Concavlinse bewirkt, nicht ganz aufgehoben und daher der bei m_1 austretende Strahl nicht blos farblos, sondern zugleich auch, und zwar gegen die Axe **A** x der beiden Linsen, gebrochen. Diese Zusammensetzung entspricht also dem Zwecke eines achromatischen Prismas oder einer achromatischen Linse, und man sieht ein, daß, je größer die Zerstreuungskraft des Flintglases im Verhältnisse zu jener des Crownglases ist und je weniger die Brechungskräfte beider Gläser differiren, desto kleiner der Winkel des Prismas **II** oder die Krümmung des Concavglases, mithin desto größer der Brechungsüberschuß jedes der beiden zuletzt erwähnten Gläser (des Prismas **II** und des Concavglases) sein müsse. Gesetzt, die zwei combinirten Gläser besäßen bei ungleichen Zerstreuungskräften ein gleiches Brechungsvermögen und der Winkel des Prismas **II** oder die Concavität der Hohllinse sei so weit vermindert, daß in beiden Theilen der Combination die Zerstreuung gleich groß wird, so ist (nach Früherem) auch die Größe der Brechung im Prisma **II** oder in der Concavlinse vermindert; die Convexlinse hat also einen Ueberschuß von Brechung, der desto mehr beträgt, je mehr zur Herstellung der gleichen Zerstreuung der Winkel des Prismas **II** oder die Krümmung der Hohllinse hat vermindert werden müssen, je größer also das Zerstreuungsvermögen der Substanz dieses Prismas oder dieser Linse ist, und der Strahl wird der Axe mehr oder weniger zugelenkt. Es muß demnach die Brennweite der zusammengesetzten Linse um so kürzer werden, je größer bei gleichem oder nur wenig verschiedenem Brechungsvermögen der zwei Theile dieser Linse die Zerstreuungskraft des Concavglases im Verhältnisse zu jener der Convexlinse ist. Bei gleichem Brechungsvermögen der beiden Glasarten stehen daher die Winkel der zwei Prismen im verkehrten und die Krümmungshalbmesser der beiden Linsen im geraden Verhältnisse der Zerstreuungsvermögen. Bei ungleichem Brechungsvermögen, wie es für Crown- und Flintglas immer stattfindet, tritt aber die Gleichheit der entgegengesetzten Zerstreuungen beider Linsen dann ein, wenn die Brennweiten der letzteren im Verhältnisse der Zerstreuungskräfte stehen, weil die Krümmungshalbmesser, welche die zwei Linsen bekommen müssen, damit die Brechung bei jeder gleich groß ist, wegen Gleich-

seitigkeit (gleicher Krümmung auf beiden Seiten) jeder dieser Linsen, den Brennweiten derselben proportional sind *) und, dem unmittelbar Vorhergegangenen gemäß, bei gleicher Brechungsgröße die Krümmungshalbmesser der zwei Gläser einer achromatischen Linse im geraden Verhältnisse der Zerstreuungskräfte dieser Gläser stehen müssen. Demnach ist eine Doppellinse, die aus einer Sammellinse von Crown- und aus einer Zerstreuungslinse von Flintglas zusammengesetzt ist, achromatisch, wenn die Brennweiten der Linsen sich gerade wie die Zerstreuungskräfte beider Glasarten verhalten. Ist die Brennweite (Focaldistanz) der Sammellinse $=f$ und der Zerstreuungslinse $=f_1$; so hat man für die Brennweite F der aus beiden Gläsern zusammengesetzten Linse die Gleichung $F = \frac{f f_1}{f_1 - f}$ . . . . (162).
d. h. man erhält die Brennweite der achromatischen Doppellinse, wenn man die gehörigen Brennweiten der zwei einfachen Linsen mit einander multiplizirt und das Produkt durch ihren Unterschied dividirt **). Ist nun n das Zerstreuungsverhältniß

*) Denn setzt man in der (VI) S. 654 zur Bestimmung der Brennweite einer doppelt convexen Linse dienenden Formel $(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{r}\right)=\frac{1}{p}$ die Krümmungshalbmesser R und r einander gleich, so ist $(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R}\right)=\frac{2(n-1)}{R}=\frac{1}{p}$ oder $2(n-1)\,p=R$ also unter sonst gleichen Umständen der Krümmungshalbmesser R der Brennweite der Linse direkt proportional. Daß Gleiches auch für die beiderseits concave Linse gilt, indem für diese in obenstehender Formel R und r nur negativ zu nehmen sind, versteht sich von selbst.

**) Um die Richtigkeit dessen einzusehen, wollen wir zuerst sehen, wie man die gemeinschaftliche Brennweite zweier nach einander folgender Sammellinsen bestimmt. Zu diesem Ende seien in Fig. 607 M, N die beiden Linsen, wovon die zweite zwischen die erste und deren Brennpunkt gestellt sein soll; ferner sei SM ein zur gemeinschaftlichen Axe Ax parallel einfallender Strahl und derselbe werde durch die Linse M nach B und durch die Linse N nach dem Punkte D der Axe hin gebrochen. Bezeichnet F die gemeinschaftliche Brennweite (C_1D), f die Brennweite (CE) der ersten, f_1 die Brennweite der zweiten Linse und a_1 den Abstand der Linsen von einander; so ist $F=\frac{(f-a_1)f_1}{f+f_1-a_1}$ . . . (†). Denn nach

Fig. 607.



der allgemeinen Formel $\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{a}=\frac{1}{p}$ (158) S. 654 für Sammellinsen, aus welcher $\frac{1}{a}=\frac{\alpha-p}{\alpha p}$ folgt, hat man für die Linse N, (da auf sie der Strahl MB so auffällt, als befände sich der leuchtende Punkt in E auf der andern Seite der Linse, mithin der Abstand C_1E dieses Punktes negativ genommen werden muß, ferner die gemeinschaftliche Brennweite zugleich die Bildweite für N vorstellt), $-\frac{1}{C_1E}=\frac{F-f_1}{Ff_1}$ oder $C_1E=\frac{Ff_1}{f_1-F}$ . . . (††). Nun ist aber $C_1E = CE - CC_1 = f - a_1$, mithin gemäß (††) $(f-a_1)(f_1-F) = Ff_1$ und hieraus folgt $F=\frac{(f-a_1)f_1}{f+f_1-a_1}$ . . . (†††) d. i. die obige Formel (†). Um diese Formel für die achromatische Doppellinse geltend zu machen, hat man nur $a_1 = o$ zu setzen, weil die Crown- und Flintglaslinse ganz aneinander stehen, ferner die Brennweite f_1, da die zweite Linse eine Zerstreuungslinse ist, negativ zu nehmen, wo dann die Gleichung in $F=\frac{ff_1}{f_1-f}$ d. i. in die obige Formel (162) übergeht.

des Crown- und des Flintglases, d. h. nach (¦) S. 667, verhält sich die Zerstreuungskraft des Flintglases zu jener des Crownglases wie 1 : n; so muß, wenn die Doppellinse achromatisch sein soll, nach Früherem $f_1 : f = 1 : n$, folglich $f_1 = \frac{f}{n}$ . . . (1) sein. Setzt man diesen Werth in die Formel (162), so erhält man $f = (1 - n) F$, d. h. die Focaldistanz der Sammellinse einer aus gewissem Crown- und Flintglase zu konstruirenden achromatischen Doppellinse von bestimmter gegebener Brennweite wird gefunden, wenn man das Zerstreuungsverhältniß dieser Glasarten von 1 abzieht und den Rest mit der gegebenen Brennweite der Doppellinse multiplizirt. Wenn man den so erhaltenen Werth der Focaldistanz f des Converglases durch das Zerstreuungsverhältniß n dividirt, so erhält man nach Formel (1) die erforderliche Brennweite der Converlinse. Das Crownglas einer achromatischen Doppellinse ist stets eine beiderseits convexe Linse mit ungleichen Krümmungen (wovon die flächere nach auswärts gekehrt ist), das Flintglas aber ist gewöhnlich (nach Fraunhofer und Herschel concav-convex und mit der concaven Seite gegen die stärker convexe des Crownglases gekehrt, kann jedoch eine doppelt concave oder eine planconcave Linse sein.

Die erstere Construktionsart (nach Fraunhofer und Herschel nämlich) hat den Vortheil, daß die Krümmungen der Flächen nur mäßig werden, was bezüglich der Aufhebung der sphärischen Abweichung zuträglich ist, und daß die Krümmungen der zwei äußeren Flächen des Doppelglases von gegebener Brennweite bei was immer für einer Aenderung der gewöhnlichen Brechungs- und Zerstreuungskräfte sich nur innerhalb sehr enger Grenzen ändern. Herschel hat zur Berechnung der Krümmungen für eine achromatische, von Abweichung beinahe ganz freie Doppellinse von einer Brennweite = 10 folgende Regel gegeben: Man mache den Halbmesser der äußeren Fläche der Crownglaslinse = 6·72 und den Halbmesser der äußern Fläche der Flintglaslinse = 14·2, die Halbmesser der beiden inneren Flächen aber berechne man so, daß die Brennweiten der beiden Gläser im Verhältnisse ihrer Zerstreuungskräfte stehen. Diese Regel ist in den gewöhnlichen Fällen für kleinere Doppellinsen (bis höchstens 16 Linien Oeffnung), nicht aber für größere hinlänglich genau.

Eine Combination, wie sie eben beschrieben wurde, nämlich aus zwei verschiedenen Glasarten erzeugt, aber nie vollkommenen Achromatismus, weil sie nicht alle zerstreuten farbigen Strahlen wieder zu Weiß, sondern immer nur zwei z. B. die äußersten (die rothen und violeten) vereinigen kann und die andern unvereinigt läßt, so daß diese ein secundäres Spektrum bilden, welches, wenn auch sein Einfluß auf die Reinheit und Deutlichkeit der Bilder nur ein sehr unbedeutender ist, doch eine chromatische Abweichung verursacht. Am besten ist es, die lebhaftesten, am meisten in die Augen fallenden prismatischen Farben, nämlich das an das Orange grenzende helle Roth und das lebhafte Dunkelblau durch Vereinigung unschädlich zu machen. Es bleiben dann im secundären Spektrum blos die schwächsten Farben übrig, welche der Deutlichkeit des Bildes nur sehr wenig Eintrag thun können. Um drei, vier Farben u. s. w. zu vereinigen, müßte die achromatische Linse aus drei vier verschiedenen Glasarten u. s. w. von bestimmten Brechungs- und Zerstreuungskräften zusammengesetzt sein.

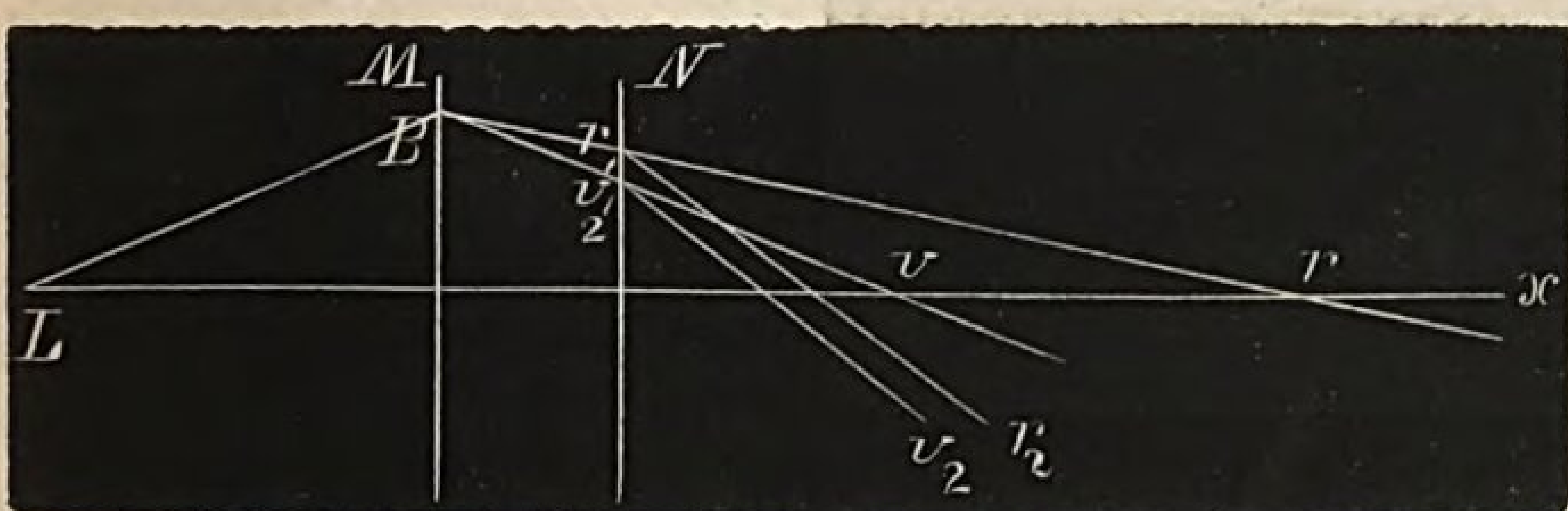
Dem beiderseits converen Crownglase der achromatischen Doppellinse können auch zwei dünnere, zu beiden Seiten der concaven Flintglaslinse angebrachte Sammellinsen aus Crownglas substituirt werden, indem sie die nämliche Wirkung leisten, wie die einfache dickere Converlinse. Denn man kann sich letztere in zwei planconvexe Gläser getheilt, jedes derselben in eine doppelt convexe Linse der nämlichen Brennweite verwandelt und dann an jede Seite des Concavglases eine dieser doppelt converen Linsen gelegt denken. Eine solche 3fache achromatische Linse ist praktisch leichter herzustellen als eine Doppellinse; diese besitzt aber gegen erstere den bedeutenden Vorzug größerer Lichtstärke, da sie nur 4 reflektirende Flächen hat.

Das oft genannte Crownglas, zu deutsch Kronglas, ist die schönste, reinste Art von Tafel- oder Spiegelglas, und das Flintglas (von Flint, der englischen Benennung des Feuersteines) enthält außer den andern Bestandtheilen eines hellen, reinen Glases eine beträchtliche Menge Blei (bei der Erzeugung werden auf 100 Pfd. Quarz 100—120 Pfd. Mennig, d. i. Bleioxyd genommen). Dieser Gehalt an Blei macht, wegen des großen spezifischen Gewichtes des letzteren, die Erzielung einer gleichförmigen Dichte an allen Stellen der Glasmasse äußerst schwierig und die Schwierigkeit wächst mit der Größe der Masse. Jede Ungleichförmigkeit in dieser Beziehung gibt sich aber durch gewisse im Innern des Glases erscheinende wellenartige Streifen kund, die viele Aehnlichkeit mit den Wellen und Streifen haben, welche man in einem Gemenge verschieden dichter, durchsichtiger Flüssigkeiten (z. B. einer dünneren und einer dickeren zäheren Lösung von arabischem Gummi) vor der vollständigen Mischung der letzteren erblickt, und macht, je nach ihrem Grade, das Glas mehr oder weniger unbrauchbar zu optischen Zwecken und insbesondere zu Linsen. Denn hat die Linse nicht in ihrer ganzen Masse die gleiche Dichte und Mischung der Bestandtheile, so hat sie auch nicht überall dasselbe Brechungs- und Farbenzerstreuungsvermögen, wie es doch unerläßlich ist, um mittelst Linsen deutliche und farblose Bilder zu erhalten. Von den besagten Wellen oder wellenartigen Streifen wohl zu unterscheiden sind kleine Bläschen oder Risse im Innern des Glases, welche häufig in Linsen vorkommen, weniger oder mehr verlängerte Luftbläschen sind und nur die Durchlassung eines geringen Antheiles des auf die Linse fallenden Lichtes hindern, also blos die Helligkeit der durch Linsen erzeugten Bilder aber durchaus nicht ihre Deutlichkeit und Farblosigkeit beeinträchtigen können. Früher wurde das Flintglas nur in England erzeugt, später auch in der Schweiz von Guinand und nachher am vollkommensten von Fraunhofer in Baiern, der das Geheimniß von Guinand erhielt; noch jetzt wird das beste Flintglas von Guinands Nachkommen bezogen.

308. Achromatische Linsencombination aus einerlei Glasart.

Diese Combination wird in der praktischen Optik (wie wir bei Abhandlung der optischen Instrumente einsehen werden) mit großem Vortheile dort gebraucht, wo eine Combination aus Crown- und Flintglas darum nicht gut angewendet werden kann, weil wegen erforderlich kurzer Brennweite des achromatischen Glases die Krümmungen der dasselbe bildenden Linsen so stark werden müßten, daß das besagte Glas nur eine kleine Oeffnung bekommen könnte, welche den großen Nachtheil einer geringen Lichtstärke der Bilder und eines geringen Gesichtsfeldes (das durch die Größe des Raumes bestimmt wird, den man durch die Linse auf einmal übersieht) zur nothwendigen Folge hat. Das Wesen und die Wirkung einer solchen Combination wird Nachstehendes klar machen. Ist in Figur 608 **M** eine Sammellinse, **L** ein in ihrer Axe **Lx** befindlicher leuchtender Punkt und **LB** ein von demselben auf die Linse fallender Strahl, so wird dieser in die prismatischen Farben zerlegt und der rothe nach **r**, der violete nach **v** hin gebrochen.

Fig. 608.

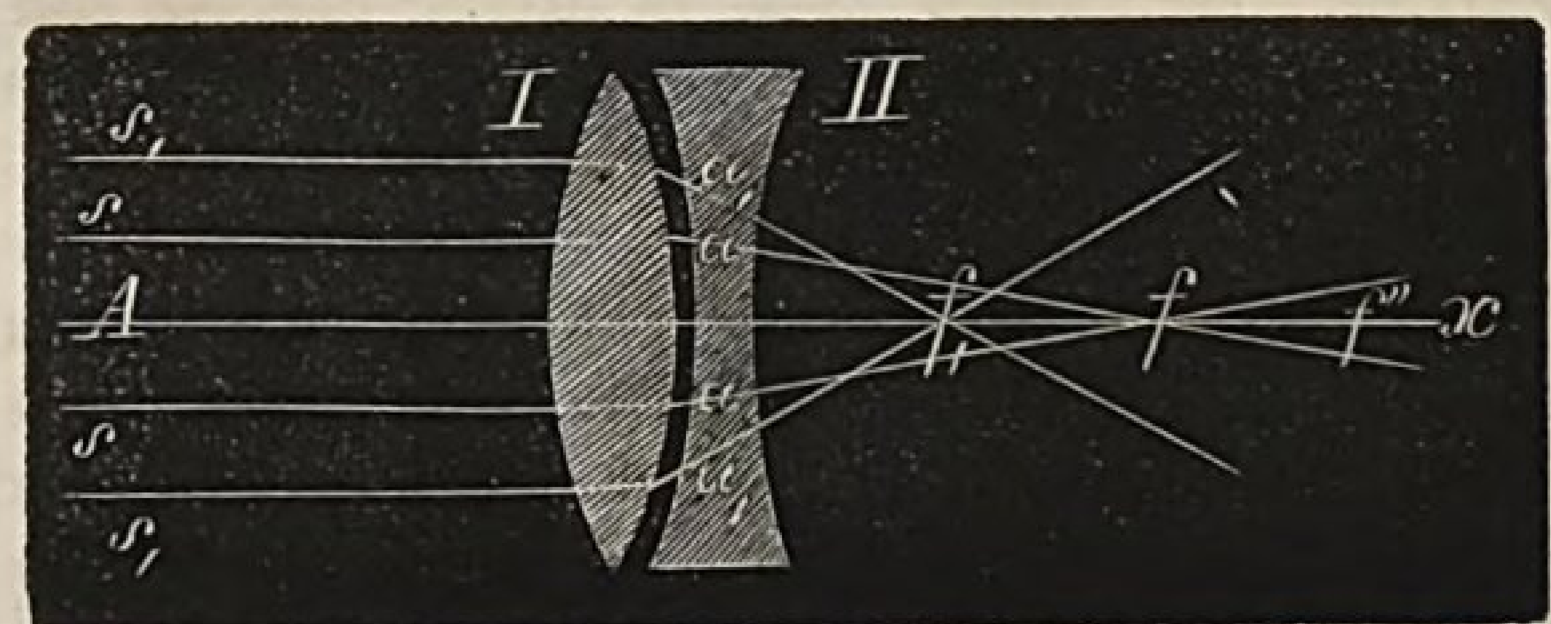


Bringt man zwischen die Linse und diese Durchschnittspunkte der Axe ein zweites Sammelglas **N**, so tritt in dieses der rothe Strahl am Punkte r_1 und der violete am Punkte v_1 ein. Nun ist aber der brechende Winkel des Prismas, welchem der Punkt r_1 angehörig betrachtet werden kann, größer als jener des dem Punkte v_1 entsprechenden Prismas; mithin findet auch bei r_1 eine stärkere Brechung als bei v_1 statt, so daß der an und für sich minder brechbare rothe Strahl durch die Linse **N** eben so gebrochen wird, als wenn er eine größere Brechbarkeit besäße, und man sieht, daß es unter sonst gleichen Umständen durch einen gehörigen Abstand der Linse **N** von **M** (da mit diesem Abstande sich die Entfernung der beiden Punkte r_1 und v_1 von einander und also auch der Unterschied der Größe der Brechung an denselben

ändert) sich leicht dahin bringen lasse, daß der rothe Strahl so stark gebrochen wird, als besäße er die gleiche Brechbarkeit wie der violete. Die beiden Strahlen treten dann nach unter einander parallelen Richtungen r_2, v_2 aus der Linse **N** aus und die chromatische Abweichung ist aufgehoben. Es gibt also zwischen je zwei Linsen eine, natürlich mit ihren Brennweiten in Beziehung stehende Entfernung, bei der die Farbenzerstreuung, welche die erste Linse hervorbringt, durch die zweite vermöge ihrer sphärischen Abweichung wieder aufgehoben wird. Diese Entfernung läßt sich leicht berechnen, wenn die gemeinschaftliche Brennweite beider Linsen und die Brennweite für jede einzelne dieser letzteren gegeben ist, und zwar mittelst der auf S. 671 unter (†) angeführten Formel $F = \frac{(f - a_1) f_1}{f + f_1 - a_1}$, worin die Buchstaben die an dem bezeichneten Orte angegebenen Bedeutungen haben.

309. Aufhebung der sphärischen Abweichung bei achromatischen Linsen. Bei den aus einem Convex- und einem Concavglase bestehenden achromatischen Linsen findet der glückliche Umstand statt, daß in den beiden entgegengesetzt geformten Gläsern die sphärischen Abweichungen einander entgegen wirken. Denn bei beiden Gläsern werden für die in weiter von der Axe entfernt gelegenen Punkten auffallenden Strahlen die brechenden Winkel (der zu diesen Punkten gehörigen Prismen), folglich auch die Brechungen an denselben größer Da nun parallel einfallende Strahlen (und diese wollen wir voraussetzen, um einen bestimmten Fall vor Augen zu haben) durch das Converglas zur Axe hingelenkt werden und zwar desto mehr, je entfernter von ihr sie auffallen, während sie durch Brechung im Concavglase von der Axe abgelenkt werden, und diese Ablenkung für die von der Axe entfernteren Strahlen in mit der Entfernung wachsendem Verhältnisse mehr beträgt; so läßt sich nach dem Vorhergehenden nun leicht einsehen, daß bei angemessener Einrichtung der Krümmungen der Convex- und der Concavlinse diese beiden entgegengesetzten Brechungen sich werden compensiren müssen, so daß die sphärische Abweichung der Concavlinse dazu dient, jene der Converlinse aufzuheben. Die Fig. 609 macht diese Wirkung anschaulich. Durch die Linse **I** werden die Strahlen **s**, **s** nach f und die Strahlen s_1, s_1 nach f_1 hin gebrochen. Werden sie aber nach ihrem Austritte aus **I** mit der Linse **II** aufgefangen, so werden die bei **a**, **a** convergent auffallenden Strahlen weniger convergent gemacht, also nach der Brechung in **II** die Axe **A x** statt in f z. B. im

Fig. 609.



Punkte f'', schneiden. Da die Auffallspunkte a_1, a_1 zu Prismen von größerem brechenden Winkel gehören als die Punkte **a**, **a**, so werden die bei a_1, a_1 auffallenden Strahlen in größerem Maße weniger convergent gemacht, als die bei **a**, **a** eintreffenden, es wird die Größe der Wegrückung ihres Durchschnittspunktes f_1 von **I** mehr betragen, als jene des Punktes f, und bei gehöriger Einrichtung der Krümmungen beider Linsen wird der Punkt f_1 den nach f'' hinaus gerückten Punkt f einholen, so daß f und f_1 in f'' zusammenfallen, also der Abweichungskreis verschwindet und daher die Abweichung aufgehoben ist. Da die zu dieser Aufhebung erforderliche Brechungsgröße in jeder der beiden Linsen, ohne Aenderung ihrer Focaldistanzen, durch ein gehöriges Verhältniß der Krümmungshalbmesser erzielt werden kann, so ist dieses, durch Rechnung bestimmbare Verhältniß eben so das Mittel zur Behebung der sphärischen Abweichung, wie die Herstellung der Focaldistanzen des Convex- und des Concavglases im Verhältniß der Zerstreuungskräfte beider das

Mittel zur Aufhebung der chromatischen Abweichung ist. Uebrigens läßt sich bei einer aus den zwei zuletzt genannten Gläsern zusammengesetzten Doppellinse die sphärische Abweichung eben so wenig vollkommen aufheben als die chromatische, weil in dem Punkte, in welchem am Rande und an der Axe auffallende Strahlen sich vereinigen lassen, nicht auch zugleich zwischen diesen gelegene vereinigt werden können.

Bei der aus zwei Sammellinsen der nämlichen Glasart bestehenden achromatischen Combination wird die sphärische Abweichung durch die Anwendung planconvexer Gläser, welche nahe dieselbe geringe Abweichung geben, wie die Linsen von der besten Form (S. 666) und dadurch fast ganz aufgehoben, daß die Brechung, die sonst in einer einzigen Linse stattfinden würde, sich hier auf zwei Linsen vertheilt. Man nennt eine zur möglichsten Behebung der sphärischen und chromatischen Abweichung einer Sammellinse dienende zweite Linse dieser Art vorzugsweise Collectivglas. Linsen, die von beiden Abweichungen frei sind, heißen aplanatisch.

310. Optische Instrumente. Da das Vorhergehende Alles enthält, was wesentlich ist zum Verständniß der Leistungen und der Einrichtung jener Apparate, mit deren Hilfe die Gegenstände deutlicher oder bequemer als mit bloßem Auge gesehen werden können, und welche optische Instrumente heißen *), so soll nun von diesen Apparaten gehandelt werden. Man unterscheidet bei den optischen Instrumenten dioptrische und katoptrische, je nachdem blos Linsen, oder auch Spiegel die Hauptbestandtheile ausmachen.

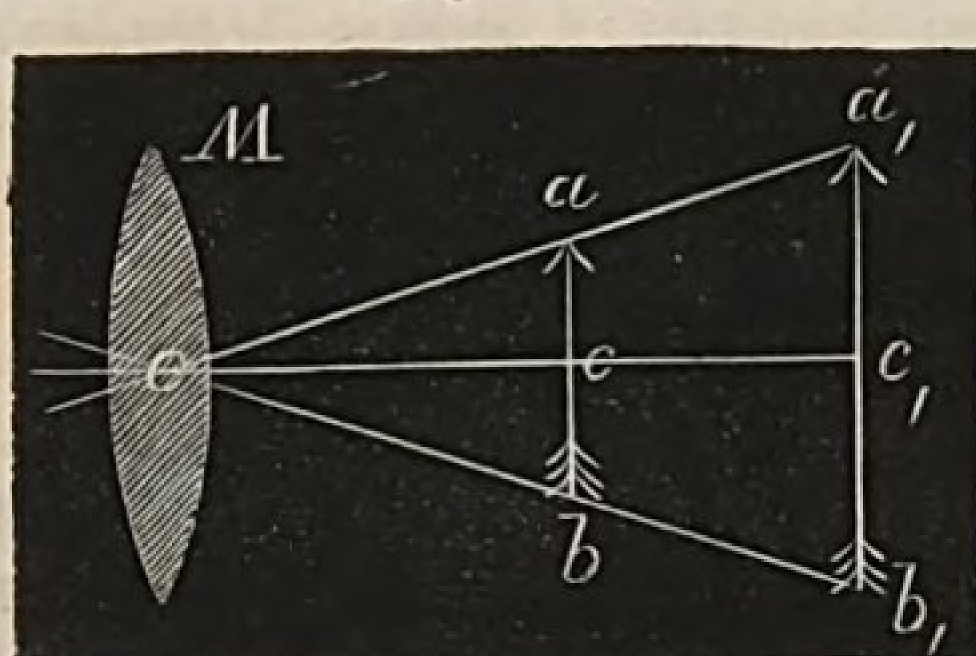
Jedes optische Instrument bringt von dem zu betrachtenden Gegenstande ein Bild zu Gesicht, bei welchem es sich um folgende Eigenschaften handelt. 1. Die Deutlichkeit. Hierzu ist erstlich erforderlich, daß das Bild in gehöriger Entfernung von dem dasselbe betrachtenden Auge sich befindet. Für jedes Auge gibt es nämlich (wie wir später ausführlicher besprechen werden) eine bestimmte Entfernung, unter welche ihm die zu betrachtenden Objecte nicht genähert werden dürfen, wenn es dieselben noch deutlich sehen soll, und welche die Weite des deutlichen Sehens oder die Sehweite genannt wird. Bei einem ganz gesunden normalen Auge beträgt diese 8—10 Zoll. Ist die Sehweite eines Auges kleiner als 8—10 Zoll, so heißt es kurzsichtig, ist sie hingegen größer, so heißt es weitsichtig. In dieser kleinsten Entfernung des deutlichen Sehens sieht es das Object zugleich am hellsten und größten und daher müssen die von den optischen Instrumenten zu Gesicht gebrachten Bilder sich immer in dieser Entfernung befinden. Die Deutlichkeit und zugleich die Reinheit des Bildes erfordert ferner, daß dieses von der sphärischen Abweichung, wie sie durch Linsen oder Spiegel, und von der chromatischen Abweichung, welche durch erstere erzeugt wird, frei sei. 2. Die Helligkeit. Das Bild soll möglichst hell (lichtstark) sein. Zu diesem Ende müssen durch das Instrument von dem damit zu betrachtenden Gegenstande möglichst viele Lichtstrahlen ins Auge geleitet werden. Der Grad der Helligkeit bestimmt die sogenannte Lichtstärke des Instrumentes. 3. Die Größe des Bildes im Verhältniß zu jener des mit freiem Auge betrachteten Gegenstandes. Die Größe, unter welcher ein Object nach einer bestimmten Dimension dem Auge erscheint, hängt von dem Winkel ab, welchen die geraden Linien mit einander einschließen, die von den Endpunkten der betreffenden Dimension ins Auge gezogen gedacht werden, und welcher der optische Winkel heißt. Ein Object ist desto größer, je größer bei gleicher Entfernung der optische Winkel

*) Zur Construktion dieser Apparate ist noch unerläßlich die Kenntniß der Methoden, die Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse der durchsichtigen Körper, insbesondere der Glasarten zu bestimmen; wir lassen diese Methoden aber darum den optischen Instrumenten selbst folgen, weil einige derselben die Kenntniß einer Art dieser Instrumente voraussetzen.

für dasselbe ist, oder aus je größerer Entfernung es unter dem nämlichen optischen Winkel erscheint. Das Verhältniß, in welchem das optische Instrument ein Object größer zeigt, als man es mit freiem Auge sieht, bestimmt die vergrößernde Eigenschaft des Instrumentes, und die Division der Größe des Objectes mit dem Instrumente durch jene ohne Instrument gibt die **Vergrößerung** des letzteren. Endlich ist bei jedem optischen Instrumente noch von Belang 4. das **Gesichtsfeld**, d. i. der Raum, welcher mit demselben auf einmal übersehen werden kann. Eine je stärkere Vergrößerung und ein je größeres Gesichtsfeld, unbeschadet der erforderlichen Deutlichkeit und Lichtstärke der Bilder, ein optisches Instrument bietet, desto mehr Werth hat es. Vorzüglich gilt dies für die Mikroskope und Fernröhre, von denen nun gehandelt werden soll.

311. Die Mikroskope oder Vergrößerungsgläser überhaupt. Das Mikroskop hat die Bestimmung, Gegenstände, die wegen ihrer Kleinheit in der Sehweite vom freien Auge gar nicht oder nicht deutlich wahrgenommen werden können, deutlich sichtbar zu machen. Es gibt **einfache** und **zusammengesetzte** Mikroskope. Ein einfaches Mikroskop ist jede Sammellinse oder jede Combination von Sammellinsen, die wie eine einzelne Sammellinse wirkt, wenn man durch dieselbe einen innerhalb ihrer Brennweite befindlichen Gegenstand betrachtet, weil sie diesen dann in einem vergrößerten Bilde zeigt, (man sehe die frühere Fig. 593). Ist in Fig. 610 **acb** ein innerhalb der Brennweite der Convexlinse **M** stehender Gegenstand, so entsteht auf der nämlichen Seite der Linse in größerer Entfernung ein Bild $a_1 c_1 b_1$, welches bei gehöriger Distanz des Gegenstandes von der Linse für das auf der andern Seite derselben befindliche Auge in der Sehweite erscheint und größer ist als der Gegenstand. Denkt man sich das Auge sehr nahe an der Linse und diese von der Art, daß man

Fig. 610.



ihre Dicke in Bezug auf die Entfernung des Gegenstandes und des Bildes von der Linse vernachlässigen, also das Auge im optischen Mittelpunkte o derselben befindlich annehmen kann; so ist (nach 3. in **310**) bei der Gleichheit des optischen Winkels für Gegenstand und Bild des Mikroskopes Vergrößerungszahl $v = \frac{a_1 b_1}{ab}$ oder, da wegen Aehnlichkeit der Dreiecke **aob** und $a_1 o b_1$, und der Dreiecke **aoc** und $a_1 o c_1$, $\frac{a_1 b_1}{ab} = \frac{a_1 o}{ao}$ und $\frac{a_1 o}{ao} = \frac{c_1 o}{co}$, mithin $\frac{a_1 b_1}{ab} = \frac{c_1 o}{co}$ ist, auch $v = \frac{c_1 o}{co}$. Nun ist $c_1 o$ die Bildweite, die der Sehweite gleich sein muß, co die Entfernung des Gegenstandes von der Linse, und es besteht zwischen diesen beiden und der Brennweite der Linse, die p_1 heißen mag, nach Gleichung (158) auf S. 655 der Zusammenhang, daß $\frac{1}{c_1 o} = \frac{1}{p_1} - \frac{1}{co}$ ist. Da ferner nach **D)** auf S. 655 die Bildweite negativ gesetzt werden muß; so erhält man $-\frac{1}{c_1 o} = \frac{1}{p_1} - \frac{1}{co}$, hiernach durch Multiplikation des ganzen Ausdruckes mit $c_1 o$, $-\frac{c_1 o}{c_1 o} = \frac{c_1 o}{p_1} - \frac{c_1 o}{co}$, oder

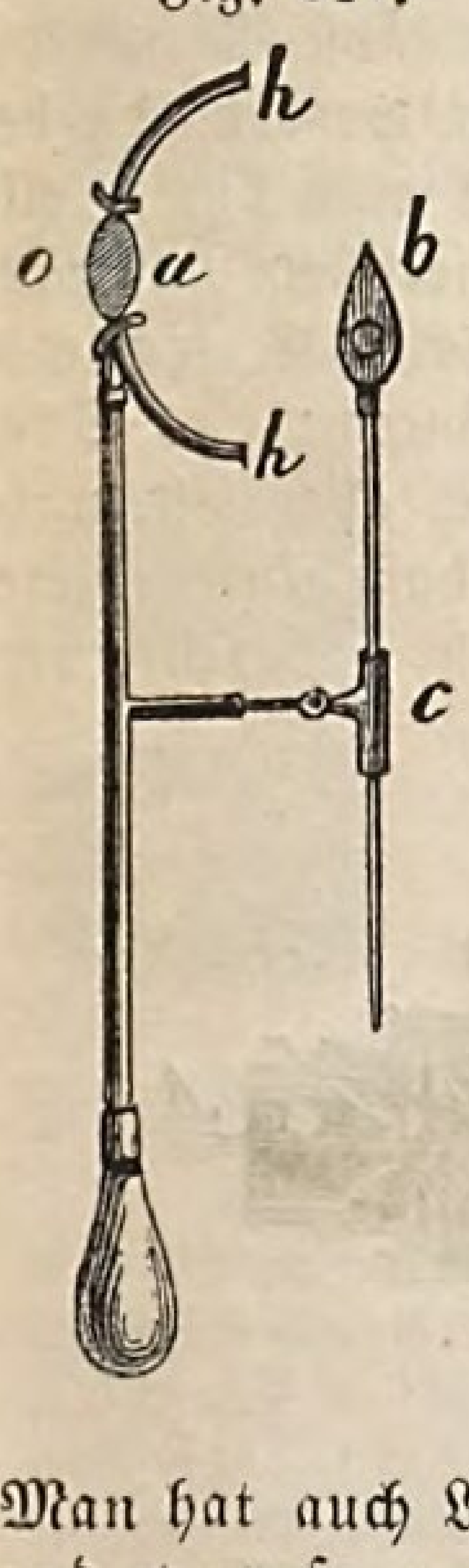
$$\frac{c_1 o}{co} = \frac{c_1 o}{p_1} + 1; \text{ endlich } v = \frac{c_1 o}{p_1} + 1 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (163)$$

d. h. die lineare (nach einer Dimension des Gegenstandes stattfindende) Vergrößerung ist um die Einheit größer als der Quotient aus der Brennweite der Linse

in die Sehweite. Das Quadrat dieser Vergrößerungszahl gibt die Vergrößerung nach der Fläche. Bei den gewöhnlichen Angaben der Vergrößerungen von Mikroskopen ist meistens die Flächen-Vergrößerung gemeint.

Man sieht aus Gleichung (163), daß eine und dieselbe Linse für weitsichtige Augen mehr, für kurzsichtige Augen weniger vergrößere als für ein gesundes Auge, und daß die Vergrößerung übrigens desto mehr betrage, je kürzer die Brennweite der Linse ist . . . (A). Man hat Linsen, die über 40000mal vergrößern, deren Brennweite daher kleiner als ½ Linie ist. Einfache Mikroskope, bei welchen die Brennweite nur einige Zolle und nicht unter einen Zoll beträgt und welche daher für ein normales Auge höchstens 8 — 10 Mal vergrößern, heißen **Loupen**. Die dem vergrößerten Bilde zugleich nothwendige Deutlichkeit fordert die Aufhebung der sphärischen und chromatischen Abweichung der Linse: der ersteren durch das gehörige Verhältniß ihrer Krümmungshalbmesser (S. 666) und durch Abhaltung der Randstrahlen mittelst einer Blendung (S. 665), der letzteren aber durch Anwendung einer achromatischen Doppellinse oder näherungsweise dadurch, daß man die einfache Linse aus einem Stoffe verfertigt, welcher ein großes Brechungs- und ein kleines Zerstreuungsvermögen besitzt. In jeder Beziehung sehr gute einfache Mikroskope bilden Linsen aus Edelsteinen, Diamant, Saphir u. s. w. Damit das Bild die nöthige Helligkeit besitzt, muß (gemäß 2. S. 675) die Linse eine möglichst große Oeffnung haben. Da andererseits aber die sphärische Abweichung eine desto stärkere Verminderung der Oeffnung gebietet, je mehr die Linse vergrößert, je convexer sie also ist (A); so sieht man ein, daß der Vergrößerung durch die Rücksicht auf die Lichtstärke und umgekehrt eine Grenze gesetzt werde, und daß durch ursprünglich starke Beleuchtung des zu betrachtenden Objectchens diese Grenze weiter hinausgerückt werden könne. Aus letzterem Grunde wird nicht selten an der Fassung der Linse, die der Bequemlichkeit beim Gebrauche wegen häufig auch mit einer Klemme zum Festhalten des Objectchens versehen ist, ein kleiner sphärischer Hohlspiegel angebracht, welcher, indem er das auf ihn fallende Licht concentrirt auf die der Linse zugewendete Fläche des Objectchens wirft, dieses stark beleuchtet. In Fig. 611 stellt h, h einen Durchschnitt dieses **Lieberkühn'schen** Hohlspiegels, a die in seiner Mitte eingesetzte Linse und b eine in der Hülse c auf und ab und mit dieser nach allen andern Richtungen bewegliche Klemme (Pincette) zur Aufnahme des Objectchens vor, welches von o aus durch die Linse betrachtet wird. Die Größe des Gesichtsfeldes endlich wächst unter sonst gleichen Umständen mit der Oeffnung der Linse und steht schon deswegen mit der Vergrößerung in ähnlicher Beziehung wie die Lichtstärke. Uebrigens hängt sie zum Theil auch von dem Platze ab, den das Auge hinter der Linse einnimmt, und die Ursache dieser Abhängigkeit so wie jener von der Oeffnung der Linse liegt darin, daß, je größer die Oeffnung der Linse und je näher das Auge an der letzteren ist, von desto mehr neben einander gelegenen leuchtenden Punkten durch die Linse Strahlen ins Auge kommen, wie eine leicht zu entwerfende Zeichnung deutlich zeigt.

Fig. 611.

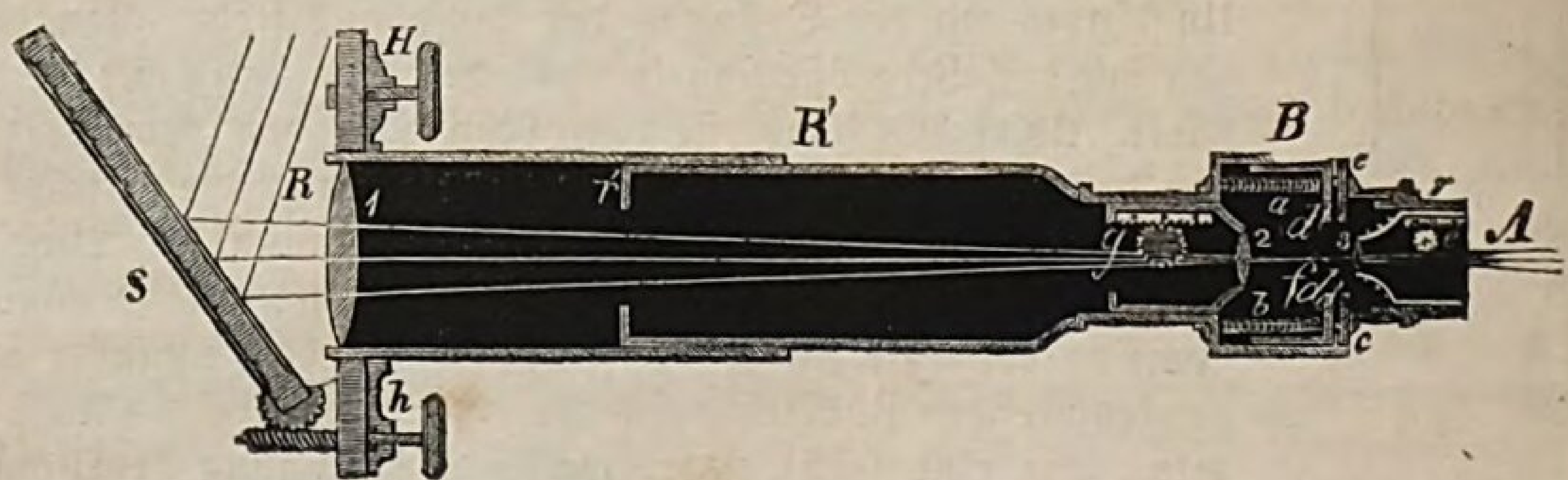


Man hat auch Loupen aus zwei (seltener aus drei oder mehreren) hinter einander und zwar so angebrachten einfachen Sammellinsen, daß sie sich beinahe berühren. Da diese Linsen, bei geringerer Convexität jeder derselben, zusammen die Stelle einer einzigen, mehr convexen Linse vertreten, so wird bei dieser Einrichtung die nämliche Vergrößerung mit geringeren Convexitäten erreicht, die Loupe (Doppelloupe, dreifache Loupe u. s. w.) kann daher eine größere Oeffnung erhalten, wo-

durch an Lichtstärke und Gesichtsfeld gewonnen wird, und es läßt sich bei derselben die sphärische und die chromatische Abweichung viel kleiner machen, also weit mehr Deutlichkeit der Bilder erzielen. Im vollsten Maße werden diese Vortheile erreicht durch die zuerst von Plößl konstruirten aplanatischen Loupen, welche aus zwei achromatischen Doppellinsen bestehen (**307**), die in messingener Fassung hinter und in geringer Entfernung von einander angebracht sind, und gewöhnlich 3—6 oder 6—16mal vergrößern. Zu den ebenfalls noch im Gebrauch befindlichen Doppelloupen gehört auch die Wilson'sche, welche aus zwei einfachen in einer gemeinschaftlichen Fassung enthaltenen Planconvexlinsen besteht, deren plane Flächen nach außen und deren convexe nach innen und einander zugewendet sind. Zwischen beiden Linsen ist ein Diaphragma (eine Blendung) angebracht. Endlich muß hier noch der Stanhope-Loupe Erwähnung geschehen. Sie ist aus einem kleinen etwa ½″ langen Glascylinder gebildet, dessen beide Grundflächen Kugelsegmente von ungleichen Krümmungen sind. Die Krümmungen sind der Art, daß sich die eine im Brennpunkte der andern befindet und daß das zu betrachtende Object, um es deutlich zu sehen, unmittelbar auf der letzteren angebracht werden muß, während man das Auge an die erstere anhält. Man klebt daher das Object an die eine Grundfläche des Cylinders, welche die weniger gekrümmte ist, und beobachtet dasselbe, es gegen das Licht haltend, durch die andere. Die Vortheile, welche die Stanhope-Loupe gewährt, sind: daß bei derselben der zu betrachtende Gegenstand immer unverrückbar in jener Entfernung sich befindet, bei der er am deutlichsten erscheint, während bei andern Loupen die Schwankungen der das Object oder die Loupe haltenden Hand ohne Aufhören der Deutlichkeit des Bildes Eintrag thun und dasselbe trüben; endlich eignet sich diese Loupe auch recht gut zur Betrachtung in Flüssigkeiten befindlicher Objectchen, da, während das Auge an der betreffenden Grundfläche sich befindet, die andere beinahe bis zu einer der Länge des Cylinders gleichen Tiefe in Flüssigkeiten getaucht werden kann.

312. Das Sonnenmikroskop, ein Instrument von äußerst interessanter Wirkung, kann auch zu den einfachen Mikroskopen gezählt werden, da bei demselben ebenfalls durch eine einfache Sammellinse oder durch eine die Stelle einer solchen vertretende Linsencombination von sehr kleinen Objectchen stark vergrößerte Bilder, wenn gleich auf andere Art, als bei den vorher betrachteten einfachen Mikroskopen zu Stande gebracht werden. Das durch concentrirtes Sonnenlicht beleuchtete Objectchen steht außerhalb der Brennweite, aber sehr nahe am Brennpunkte einer achromatischen Linse (Objectivlinse), so daß hinter dieser auf einer in gehöriger Entfernung befindlichen Wand ein verkehrtes, sehr ver-

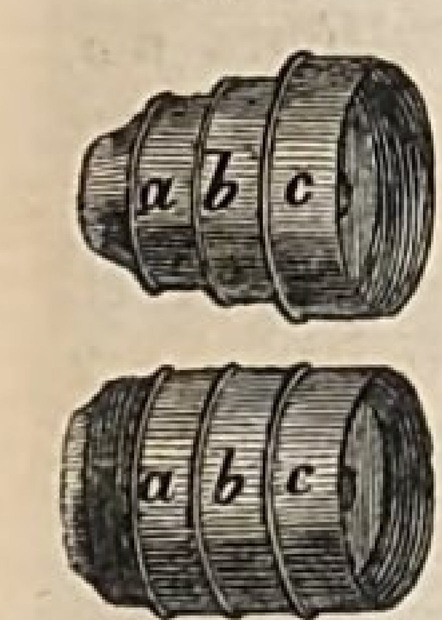
Fig. 612.



größertes Bild erscheint. Die Fig. 612 zeigt ein Sonnenmikroskop vollkommener Einrichtung im Längendurchschnitte. **Hh** ist ein am Fensterladen eines verfinsterten Zimmers festzumachender Heliostat von der auf S. 613 beschriebenen Art. Mittelst des Spiegels **S** werden direkte Sonnenstrahlen der Linse 1 zugeleitet, welche am Ende des in **Hh** eingeschraubten und aus zwei in einander verschieb-

baren Theilen bestehenden Rohres **Rr** enthalten ist und die Strahlen convergirend einer andern Sammellinse 2 zuführt, welche sie in einem Punkte f vereinigt. Nahe an diesen Punkt wird das zu betrachtende (als transparent vorausgesetzte) Objectchen gebracht, indem es, gewöhnlich in einem Rähmchen (einem sogenannten Objectenschieber), zwischen zwei reinen und dünnen Glasscheibchen eingeschlossen, in die Büchse **B** eingeschoben wird, welche nahe am vordern Ende r des Rohres **Rr** vorhanden ist, und welche aus einem äußeren, fixen und einem innern, darin verschiebbaren Theil besteht. Der in der Mitte mit einem Loche versehene Deckel d des inneren Theiles wird mittelst um Stäbchen herumgewundener Spiralfedern a, b stets an die (gleichsam den Deckel des äußeren fixen Büchsentheiles bildende) Scheibe c angedrückt, so daß der zwischen d und c (und zwar durch horizontale Schlitze, welche in der vordern und hintern Seite des besagten fixen Büchsentheiles einander gegenüber angebracht sind) eingeschobene Objectenschieber eingeklemmt erhalten wird. Das nun stark beleuchtete Objectchen befindet sich so vor der oben erwähnten Objectivlinse 3, welche in einer mittelst Getriebes e längs des Rohres verschiebbaren Fassung enthalten ist, und auf einer dem offenen Röhrenende **A** in 10—20 Fuß Entfernung gegenüber vertikal aufgestellten Wand ein deutliches, helles und sehr stark vergrößertes Bild entwirft, wenn man mittelst des Getriebes e die Objectivlinse in den gehörigen Abstand von dem Objectchen gebracht und durch entsprechende Verschiebung der Linse 2 mittelst des Getriebes g für möglichste Concentrirung der Sonnenstrahlen in einem Punkte und daher für möglichst starke Beleuchtung des Objectchens gesorgt hat. Da der innere Theil **r′r** des Auszugrohres **Rr** in dem äußeren **R′** drehbar ist, so kann man das Bild des Objectes in verschiedenen Lagen auf der Wand erhalten. Daß ganz deutliche und reine Bilder nur erzielt werden können, wenn das Objectivglas 3 von der chromatischen und sphärischen Abweichung so viel möglich frei d. h. aplanatisch ist, versteht sich von selbst. Die besten Dienste leisten jene aplanatischen Objective, welche aus zwei oder drei, einzeln möglichst aplanatisch gemachten und mit ihren Fassungen an einander geschraubten Doppellinsen zusammengesetzt sind und welche vorzüglich bei den gleich nachher abzuhandelnden zusammengesetzten Mikroskopen nun fast ausschließend angewendet werden. Eine derartige Combination (Fig. **613**, wo **a**, **b**, **c** drei solche Doppellinsen sind) gewährt nicht blos weit mehr Deutlichkeit, sondern auch viel größere Helligkeit der Bilder und gestattet daher stärkere Vergrößerungen als eine einzelne achromatische Doppellinse, weil bei ihr auch der Theil der chromatischen und insbesondere der sphärischen Abweichung, welcher an einer solchen Doppellinse von kurzer Brennweite, wie sie zu Mikroskopen erfordert wird, immer in bedeutenderem Maße unwegbringlich haften bleibt, aus nach **307** und **309** leicht begreiflichen Gründen fast ganz aufgehoben ist, so daß man den einzelnen Linsen der Combination größere Oeffnungen geben, also eine größere Lichtstärke des Bildes erreichen kann.

Fig. 613.

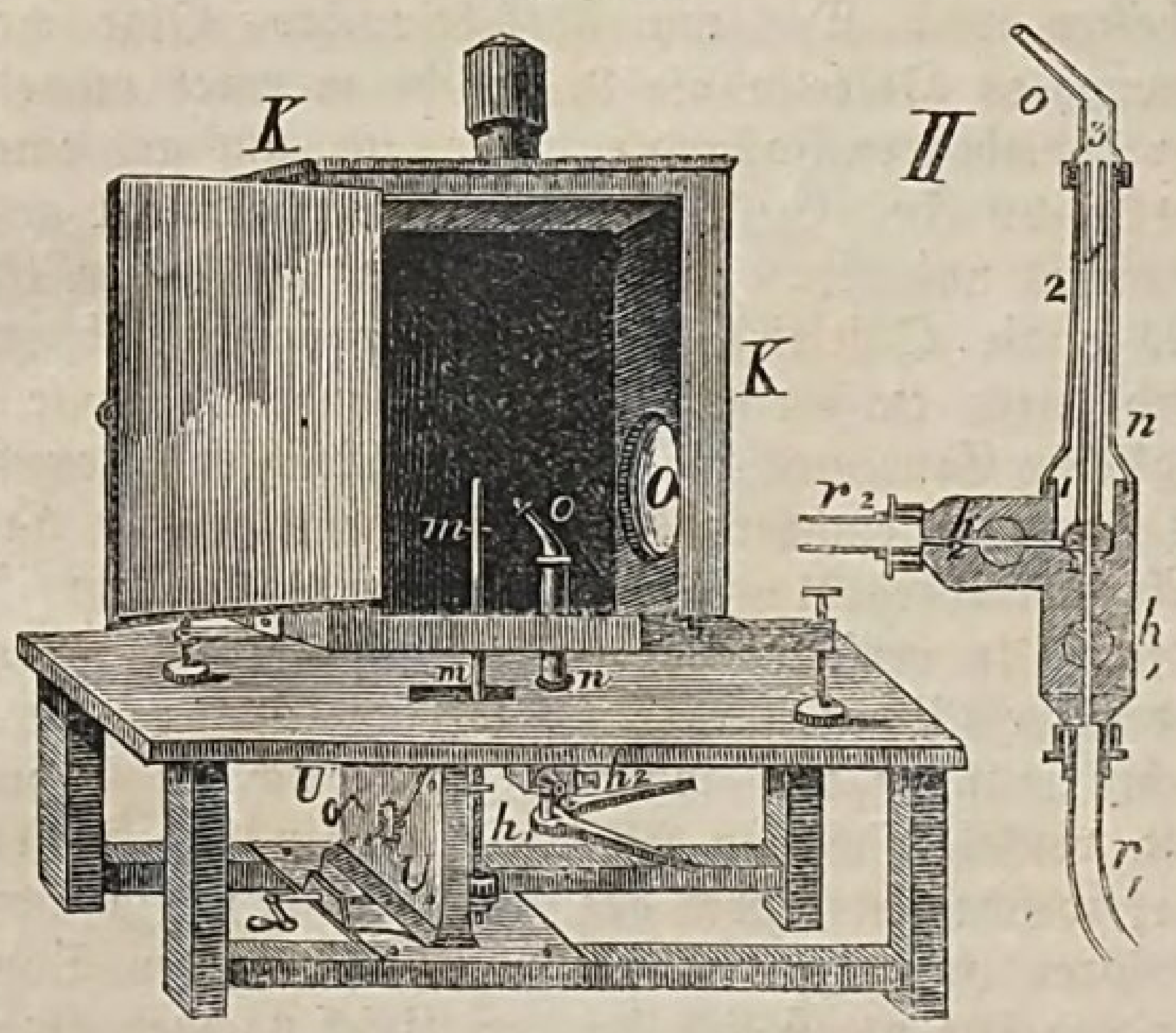


Das Sonnenmikroskop gibt von Infusionsthierchen, von Insekten und ihren Organen, von Pflanzentheilen u. s. w. erstaunlich große Bilder. Eines der schönsten mit demselben ausführbaren Experimente besteht aber darin, daß man als Objectenträger einen überall gleich dicken Glasstreifen anwendet, darauf ein Tröpfchen einer Salzlösung bringt, (sehr gut eignet sich eine Lösung von Salmiak oder von schwefelsaurem Natron) und dieses als Object ins Mikroskop einsetzt. In wenig Augenblicken beginnt, indem das Auflösungsmittel durch die Hitze der concentrirten Sonnenstrahlen verflüchtigt wird, ein Krystallisationsprozeß, und man kann denselben in dessen bildlicher Darstellung auf der Wand genau verfolgen.

Um sich von dem nicht immer disponiblen direkten Sonnenlichte unabhängig zu machen, hat man zuerst das Lampen- und in neuerer Zeit das Gasmikroskop konstruirt. Ersteres, bei welchem Lampenlicht angewendet wird, hat sei-

ner verhältnißmäßig geringen Leistungen wegen nie eine bedeutende Anwendung gefunden und soll daher hier auch ganz übergangen werrden. Hingegen ausgezeichnet, wenn gleich (wegen geringerer Lichtstärke) in Bezug auf mögliche Vergrößerung jener des Sonnenmikroskopes doch nachstehend, ist die Wirkung des Gasmikroskopes. Bei demselben dient zur Beleuchtung der mikroskopischen Objecte das äußerst intensive Licht, welches frisch gebrannter Kalk aussendet, wenn er durch die Flamme brennenden Knallgases (Hydro-Oxygengases, woher auch das Instrument Hydro-Oxygengas-Mikroskop heißt) glühend gemacht worden. Der Unterschied vom Sonnenmikroskope besteht der Wesenheit nach nur darin, daß das Rohr **R r** der früheren Fig. 612, statt in dem Heliostat **H h** und mit diesem am Fensterladen festgemacht zu werden, in die eine Wand eines mit Thüren versehenen und allseitig gut verschließbaren hölzernen Kastens **K** (Fig. 614) ebenfalls horizontal eingeschraubt wird (nämlich in die runde Oeffnung 0), und daß in diesem Rohre an der Stelle der Linse 1, die ihren Platz weiter gegen die Linse 2 hin erhält, noch eine dritte und zwar große, sehr convexe Beleuchtungslinse vorhanden ist, welche die vom glühenden Kalkstücke, das sich in ihrem Brennpunkte befindet, divergent ausfahrenden Strahlen erst parallel macht (wie es beim Sonnenmikroskop die Sonnenstrahlen sind), bevor sie zu den andern Beleuchtungslinsen gelangen. Zur Erzeugung des Kalklichtes (von

Fig. 614.



seinem Entdecker auch Drummond'sches Licht genannt) dient der vertikale, durch den Boden des Kastens empor gehende Draht **m**, auf welchen ein in der Mitte seiner Länge nach durchbohrter Kalkcylinder aufgesteckt wird, und die Winkelröhre **n o**, welche diesem Cylinder den Knallgasstrom zuführt, der, angezündet, ihn an einer der besagten großen Beleuchtungslinse in **O** zugekehrten und mit dem Brennpunkt derselben zusammenfallenden Stelle zum Glühen bringt. Der untere gerade Theil der Röhre **n o** besteht aus zwei concentrisch in einander steckenden Röhren 1, 2 (**II** Fig. 614), deren jede von der andern abgesondert und mit einem eigenen Hahne h_1 und h_2 versehen ist. Setzt man nun durch den Hahn h_1 die innere enge Röhre 1 mit einem Gasometer oder mit einem Sack aus durch Caoutchouc luftdicht gemachtem Zeuge, der Sauerstoff enthält, durch den Hahn h_2 hingegen die äußere Röhre 2 mit einem ähnlichen, aber mit Wasserstoff gefüllten Behältnisse in Verbindung, (was am besten durch Röhren r_1, r_2 wieder aus mittelst Caoutchouc luftdicht gemachten Stoffe geschieht); so strömt durch die Röhre 1 Sauerstoff und durch den Zwischenraum zwischen den Röhren 1 und 2 Wasserstoff der Winkelröhre 3 zu, beide Gase mischen sich in dieser und gelangen von hier aus als Knallluft zum Kalkcylinder. Da diese so erst unmittelbar vor ihrem Verbrennen immer nur in der kleinen Menge vom Volum der Ausflußröhre 3 erzeugt wird, so ist keine irgendwie nachtheilige Explosion möglich, also die Handhabung des Gasmikroskopes ganz gefahrlos.

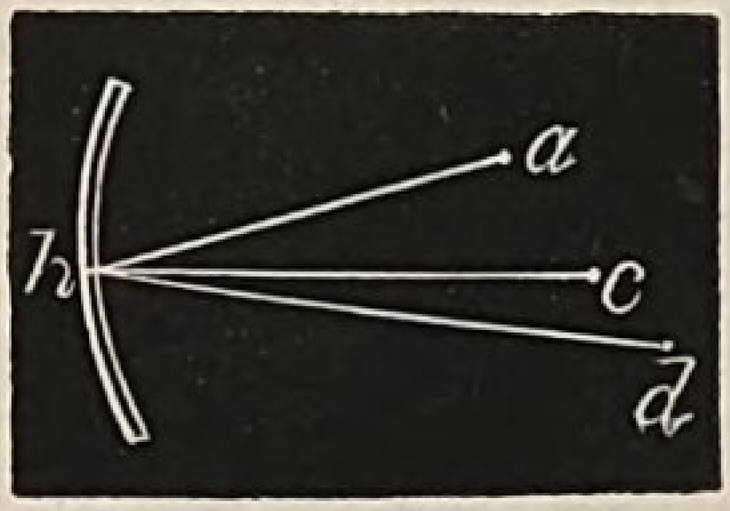
Die aus dem, mit den Hähnen h_1 h_2 versehenen Röhrensysteme **n o** bestehende Vorrichtung, welche das gefahrlose Experimentiren mit angezündetem Knallgase gestattet, wurde

von dem Engländer Daniell angegeben und wird kurz der Daniell'sche Hahn genannt. Damit während des Versuches die Knallgasflamme stets an anderen frischen Stellen die Kalkoberfläche trifft, und diese immer genau in jener Entfernung von der Ausflußöffnung der Röhre o verbleibt, bei welcher das stärkste Licht stattfindet, wird der Stift m mit dem aufgesteckten Kalkcylinder durch ein unter dem Kasten angebrachtes Uhrwerk U fortwährend langsam um sich herumgedreht und zugleich aufwärts bewegt, so daß die Flammenspitze um den Kalkcylinder auf dessen Oberfläche eine Spirallinie beschreibt, an allen von der Flamme getroffenen Stellen nur sehr wenig und überall gleichviel Kalk verbraunt (verflüchtigt), also die besagte Entfernung nie bedeutend geändert wird. Um aber bei Anbeginn des Versuches in jedem einzelnen Falle diese von der Größe der Ausflußöffnung, von der Pressung, unter welcher das Knallgas ausströmt u. s. w. abhängige Entfernung leichter herstellen zu können, ist das Uhrwerk sammt dem Stifte m in horizontaler Richtung gegen die Ausflußöffnung oder von derselben hinweg beweglich. Zur Erzielung großer Lichtstärke muß das Knallgas immer unter bedeutender Pressung ausströmen, die bei Gasometern durch entsprechende Höhen der drückenden Wassersäulen und bei Caoutchoucsäcken als Gasbehältern durch Belastung derselben mittelst Gewichten (bei größeren Ausflußöffnungen sind mehrere Zentner erforderlich) erreicht wird. Ferner ist die Mengung des Wasserstoff- und Sauerstoffgases in der Röhre o im Volumverhältniß 2:1 nöthig, welche man leicht durch Probiren zu Stande bringt, indem man die Hähne h_1 und h_2 abwechselnd so lange mehr oder weniger öffnet, als die Stärke des Kalklichtes noch wachsend erscheint.

Anstatt des Kalklichtes als Surrogat für direktes Sonnenlicht läßt sich zu mikroskopischen Zwecken auch das elektrische Licht sehr vortheilhaft anwenden. Zu diesem Ende darf man offenbar nur in dem Kasten **K** (Fig. 614) (oder in einem andern passenden, allseitig verschließbaren Kasten) an die Stelle des glühenden Kalkes die zwischen den Kohlenspitzen **N**, **P** des auf S. 498 beschriebenen und in Fig. 442 abgebildeten Regulators erzeugte elektrische Sonne bringen. (Hierzu braucht der besagte Kasten nur so eingerichtet zu sein, daß er sich in den Raum **BFFD** zwischen den Regulatorsäulen **AB** und **CD** (Figur 442) und auf das Querstück **FF** setzen läßt, und daß in demselben durch entsprechend angebrachte Oeffnungen in Decke und Boden die, die Kohlenstangen **N**, **P** tragenden Stäbe **ab** und **hi** mit gehörigem Spielraum eingeführt werden können. (Ist der Regulator in kleinen Dimensionen ausgeführt, so kann auch sein ganzer Obertheil **BFFD** vom Kasten umgeben und eingeschlossen sein.) In die runde Oeffnung **O** des Kastens **K** (Fig. 614) kann dann entweder blos eine Sammellinse (am besten eine planconvexe und so, daß sie die Convexität den Kohlen zukehrt) eingesetzt werden, deren Brennweite dem Abstande der Kohlenspitzen von ihr beiläufig gleich ist und die daher ein großes Bündel paralleler und intensiver Lichtstrahlen liefert, welche ganz so wie die vom Heliostatspiegel **S** (Fig. 612) reflektirten parallelen Sonnenstrahlen im gewöhnlichen Sonnenmikroskope (**Rr** Fig. 612) benützt werden können, das vor der oben besagten planconvexen Linse angebracht wird, indem man es, anstatt in den Heliostat **Hh** (Fig. 612), am äußeren Ende einer Röhre einschraubt, welche am andern Ende diese Planconvexlinse enthält und mit dieser in der Oeffnung **O** des Kastens **K** eingeschraubt ist; oder es kann als mikroskopisch wirkender Apparat ganz die nämliche Linsencombination wie beim Kalklichte angewendet werden, so daß sich dann das photoelektrische Mikroskop von dem Hydro-Oxygengas-Mikroskope einzig allein nur durch die Beschaffenheit des dabei fungirenden Lichtes unterscheidet. Mittelst des photoelektrischen Mikroskopes kann man überdies recht gut auch die Experimente über die Zerlegung und Wiederzusammensetzung des Lichtes **297**, **298** und sehr viele andere in der Folge noch zu besprechende Versuche mit elektrischem Lichte ganz so wie mit Sonnenlicht anstellen, wodurch dieses Instrument doppelt nützlich und werthvoll wird.

Donné und Foucault haben dem photoelektrischen Mikroskope eine etwas andere Einrichtung gegeben, von der man eine deutliche Vorstellung erhält, wenn man sich die kleine elektrische Sonne zwischen den Kohlen am Regulator in dem passend eingerichteten Kasten so placirt denkt, daß diese Sonne a (Fig. 615) etwas oberhalb des Krümmungsmittelpunktes c eines Hohlspiegels h und etwas näher an dem Spiegel als dieser Mittelpunkt erhalten wird,

Fig. 615.

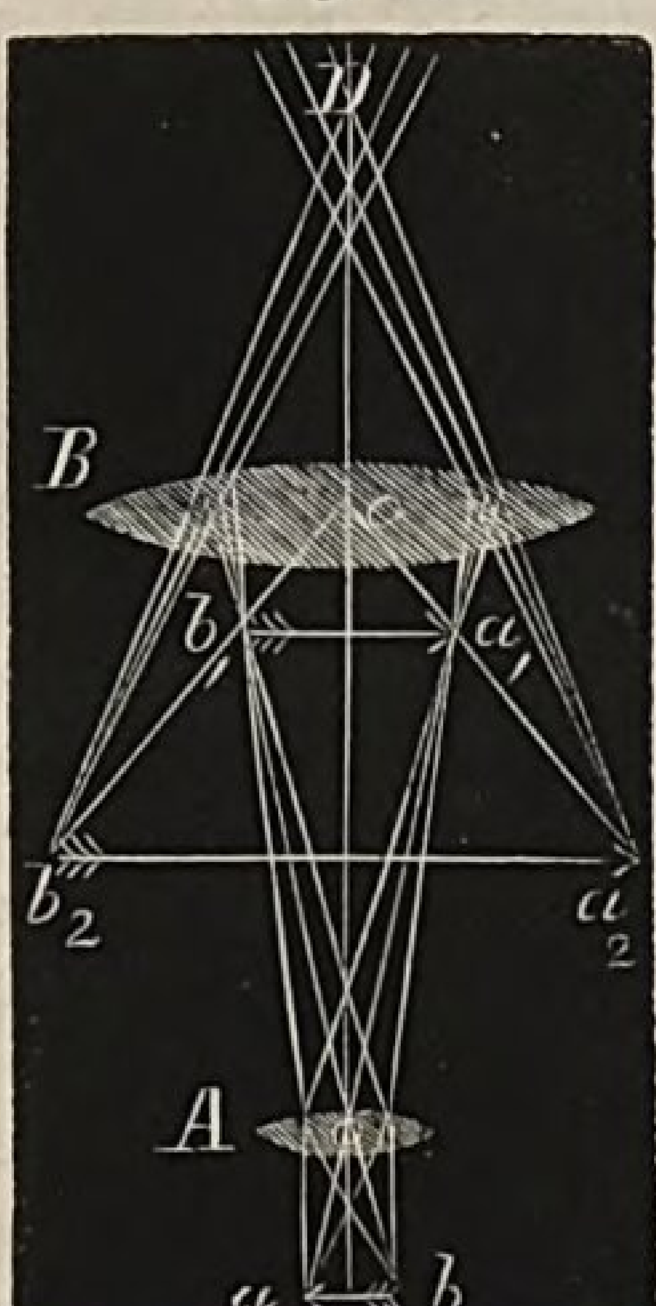


so daß die vom Spiegel reflektirten Strahlen sich in d vereinigen, wo das zu vergrößernde und mithin stark zu beleuchtende Objectchen anzubringen ist. Der Hohlspiegel hat ungefähr 10 Centimeter Oeffnung und 16 Centimeter Halbmesser. Ein zwischen dem Spiegel und dem Lichte a angebrachtes Gefäß, welches, aus von parallelen Flächen begrenzten Spiegelglasplatten gebildet und mit Alaunlösung (welche die Wärmestrahlen größtentheils absorbirt, die Lichtstrahlen aber ungeschwächt durchläßt) gefüllt ist, verhindert, daß in d eine zu große, dem mikroskopischen Objectchen nachtheilige Hitze entsteht. Die eigentliche, mikroskopisch wirkende und das vergrößerte Bild auf eine Wand projicirende (und in den Kasten einschraubbare) Linsencombination ist ganz so beschaffen, wie das Objectiv 3 beim Sonnenmikroskope (Fig. 612). Dort werden die Sonnenstrahlen eben so in einem Punkte f vereinigt, wie hier das elektrische Licht in d. Daß die beim Sonnenmikroskope beschriebenen Vorrichtungen, um die mikroskopischen Objectchen an den gehörigen Platz vor das Objectiv zu bringen, auch beim photoelektrischen Mikroskope gleich nützliche Anwendung finden, versteht sich von selbst.

Hieher gehört auch die Zauberlaterne (laterna magica), bei welcher von größeren, auf Glas gemalten, durchsichtigen Figuren, die vor einem Paar Sammellinsen mit größerer Oeffnung stehen, auf einer hinter den Linsen befindlichen Wand vergrößerte Bilder erhalten werden. Die Beleuchtung der Figuren geschieht vermittelst eines Hohlspiegels oder einer Sammellinse, die ihnen das Licht einer im Brennpunkte vorhandenen Lampenflamme in parallelen Strahlen zusendet. Der so beleuchtete Gegenstand steht innerhalb der Brennweite der ersten und außerhalb der Brennweite der zweiten Linse des oben besagten Paares so, daß durch ihre vereinigte Wirkung ein vergrößertes (verkehrtes) Bild des Gegenstandes auf die erwähnte Wand geworfen wird.

313. Zusammengesetzte Mikroskope. Das Wesen aller dieser Instrumente, wenn sie auch äußerlich noch so verschieden von einander aussehen, besteht darin, daß bei denselben von einem kleinen Objecte ab Fig. 616 durch ein

Fig. 616.

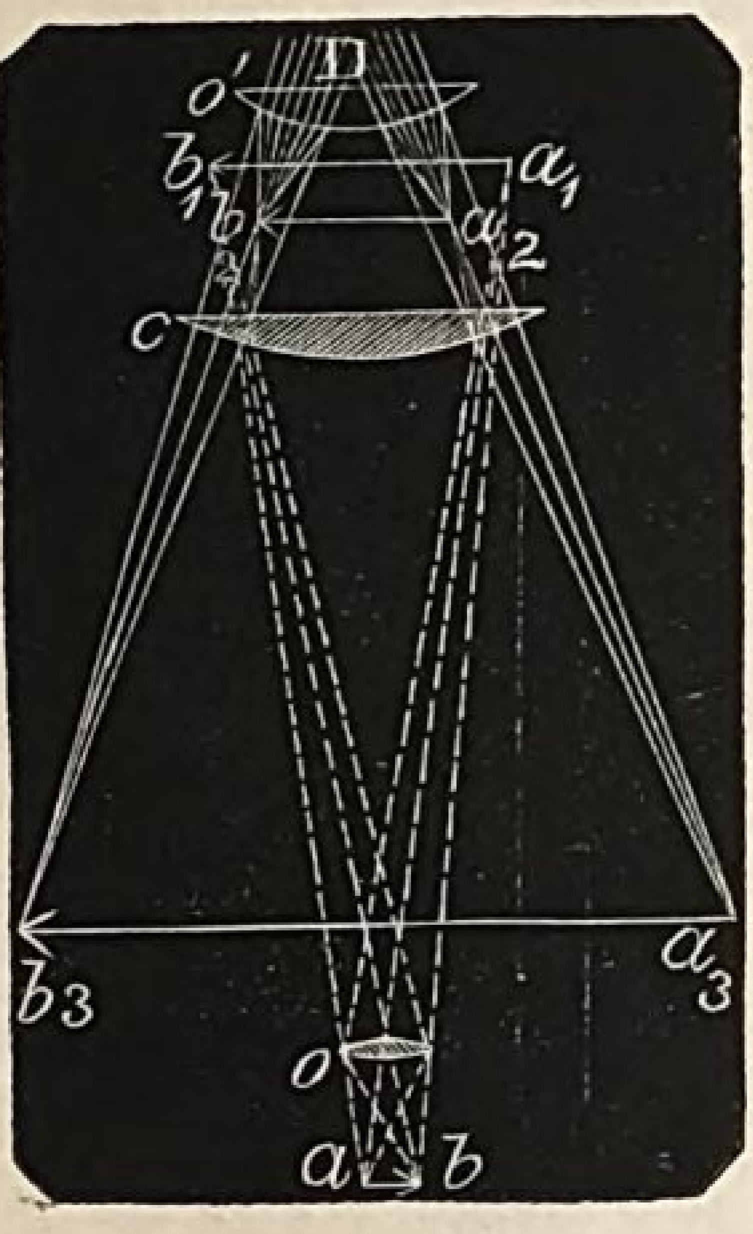


einfaches oder zusammengesetztes Sammelglas **A** von sehr kurzer Brennweite ein vergrößertes Luftbild $a_1\,b_1$ erzeugt, und dieses durch eine zweite, als einfaches Mikroskop wirkende Linse oder Linsencombination **B** angesehen wird, so daß gleichsam von $a_1\,b_1$ wieder ein vergrößertes Bild $a_2 b_2$ erscheint. Zu diesem Ende muß das Objectchen **ab** außerhalb der Brennweite des Glases **A**, aber seinem Brennpunkte sehr nahe stehen, und das Bild $a_1\,b_1$ in die Brennweite von **B** hinein fallen. Der Weg, den die Strahlen durch die Linsen nehmen, ist nach der Figur für sich klar.

Die Bedingungen, unter welchen ein zusammengesetztes Mikroskop 1. deutliche und reine, 2. helle, 3. stark vergrößerte Bilder und 4. ein großes Gesichtsfeld gibt, sind folgende. **Ad 1.** Sowohl das dem Objecte zugewendete Glas **A**, Objectivglas oder blos Objectiv genannt, als auch das zweite Glas **B**, durch welches das von **A** erzeugte Bild angesehen wird und welches Ocularglas oder schlechthin Ocular heißt, muß von der chromatischen und sphärischen Abweichung möglichst befreit sein, damit nicht blos das durch **A** erzeugte Bild $a_1\,b_1$ deutlich und rein sei, sondern diese Eigenschaften auch durch das Ocular nicht wieder aufgehoben werden. Das Objectiv ist daher stets entweder eine achromatische Doppellinse von der in **307** auseinander gesetzten Einrichtung oder am besten eine aplanatische Combination aus solchen Doppellinsen, wie sie beim Sonnenmikroskope beschrieben wurde. Die Achromatisirung des Oculars und die Aufhebung der sphärischen Abweichung bei demselben geschieht nach den in **308** und **309** besprochenen Prinzipien durch Anwendung einer Collectivlinse, so daß das Ocular dann ein aus zwei Sammellinsen der nämlichen Glasart zusammengesetztes Dop=

pelocular ist. Die zwei eben besagten Sammellinsen sind (am besten) Planconvexlinsen, die (Fig. 617) ihre planen Flächen dem Auge zukehren und, nach

Fig. 617.



Campani, so gestellt sind, daß das Bild $a_1\,b_1$, welches das Objectiv **O** allein erzeugen würde, zwischen sie hineinfällt, wie die Figur zeigt, welche zugleich anschaulich macht, wie durch die Collectivlinse **C** anstatt des erwähnten Bildes $a_1\,b_1$ ein Bild $a_2\,b_2$ erzeugt wird und endlich durch die Brechung der von diesem Bilde ausgehenden Strahlen im Ocularglase **O'** das sehr vergrößerte Bild $a_3\,b_3$ zu Stande kömmt. Man nennt die eben beschriebene, Campani'sche Ocularcombination auch ein negatives Ocular. Sowohl beim Objectiv als beim Ocular werden die bezüglich der chromatischen und sphärischen Abweichung so nachtheiligen Randstrahlen durch an entsprechenden Stellen angebrachte Blendungen abgehalten.

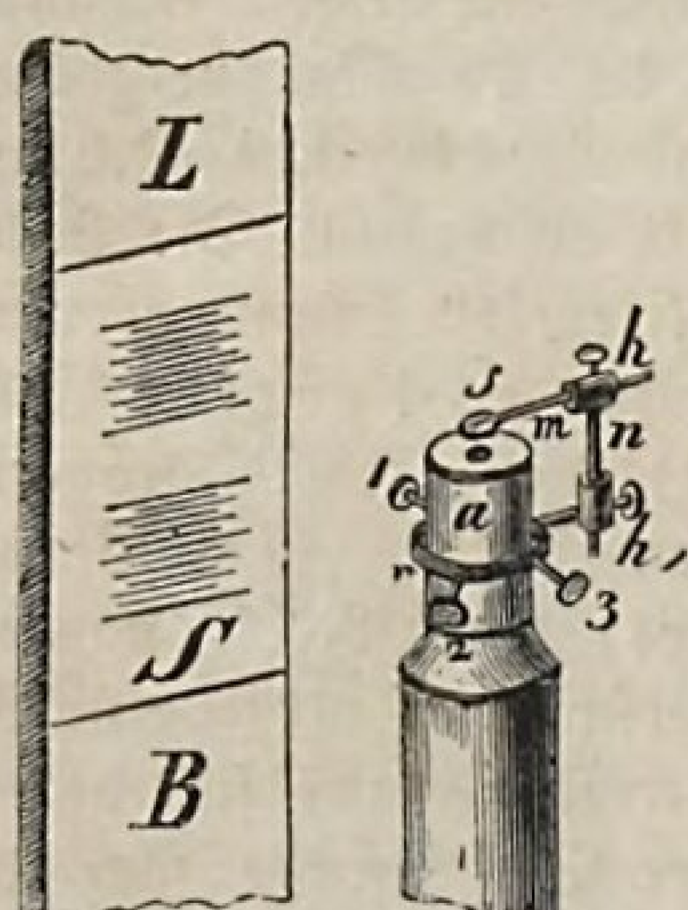
Ad. 2. Für möglichst große Helligkeit wird einerseits schon durch die aplanatische Einrichtung des Objectivs und des Doppeloculars, welcher zu Folge diese Gläser große Oeffnungen erhalten können, und andererseits durch starke Beleuchtung der zu betrachtenden Objecte gesorgt, was, wenn diese durchsichtig sind, mittelst eines Hohlspiegels, im entgegengesetzten Falle mittelst einer Sammellinse, indem man die Objecte nahe an ihre Brennpunkte bringt, bewirkt wird. (Das Nähere hierüber wird eine spätere, ein zusammengesetztes Mikroskop vorzüglichster Art in allen wesentlichen Theilen darstellende Figur deutlich machen.)

Ad. 3. Die Vergrößerung eines zusammengesetzten Mikroskopes ist das Produkt aus der durch das Objectiv und die Collectivlinse bewirkten Vergrößerung in jene des Oculars; denn offenbar wird das durch die Linsen **O** und **C** (Figur 617), vorausgesetzt, daß diese zusammen z. B. 30 Mal vergrößern, erzeugte Bild $a_2\,b_2$, wenn es durch das z. B. 20 Mal vergrößernde Ocular **O'** angesehen wird, 20 Mal 30, d. i. 600 Mal vergrößert erscheinen. Die Bestimmung der Vergrößerungszahl eines zusammengesetzten Mikroskopes kann aber nach dreierlei Methoden geschehen: man bestimmt nämlich entweder 1) beide Faktoren des besagten Produktes durch Rechnung, oder 2) den die Vergrößerung durch das Objectiv- und das Collectivglas darstellenden Faktor durch Versuche und den zweiten Faktor (die Vergrößerung des Oculars) durch Rechnung, oder 3) das Produkt beider Faktoren auf ein Mal durch Versuche. Da die erste Methode nach dem im früheren über Sammellinsen Vorgetragenen für sich begreiflich ist und die zweite und dritte Methode auf leichtere Weise sicher zum Ziele führen, so sollen nur diese Methoden hier ausführlicher besprochen werden.

2. Methode. Man wählt als zu betrachtenden Gegenstand ein Glasmikrometer (S. 12) und beobachtet, wie viele Unterabtheilungen desselben nach einer Richtung hin man mit dem Mikroskope auf ein Mal übersieht, d. i. über wie viele solche Abtheilungen sich der innere Durchmesser jenes Diaphragma's (Blendung) erstreckt, das in dem Instrumente immer genau an der Stelle vorhanden ist, an welche hin das durch das Objectiv- und das Collectivglas erzeugte Bild ($a_2\,b_2$ Fig. 617) fällt. Dividirt man nachher durch die Länge des auf ein Mal übersehenen Mikrometerstückes den mit diesem in gleichen Längeneinheiten ausgedrückten Durchmesser des Diaphragma's, so gibt der Quotient die Vergrößerungszahl des Objectivs und Collectivs, und das Produkt aus dieser Zahl in die nach Formel (163) auf S. 676 berechnete Vergrößerung des Oculars die Gesammtvergrößerung des Mikroskopes.

Ist z. B. das Mikrometer in Dreißigstel einer Linie getheilt, der Durchmesser der Blendung 6 Linien groß und das auf ein Mal übersehene Mikrometerstück $^6/_{30}$ Linien lang, so ist $6''' : {}^6/_{30}''' = 30$ die Vergrößerungszahl des Objectivs. Zu dieser Vergrößerung des Mikrometers im Verhältnisse zum Durchmesser der Blendung trägt nämlich das Ocular nichts bei, weil letzteres diesen Durchmesser in gleichem Maße vergrößert, wie die Länge des in der Blendung erscheinenden Mikrometerstückes. Man kann auch ein zweites Mikrometer auf die Blendung legen und sehen, wie viele Abtheilungen dieses inneren Mikrometers von den übersehenen Abtheilungen des äußeren, als Object dienenden Mikrometers (der Länge nach) gedeckt werden. Dann ist der Quotient der Länge der letzteren Abtheilungen in jene der ersteren die Vergrößerung des Objectivs. 3. Methode. Man wählt als Object ein Glasmikrometer und stellt das Mikroskop so ein, daß man durch das Ocular ein deutliches Bild sieht. Hierauf bringt man über dem Oculare und sehr nahe an demselben ein kleines metallenes Planspiegelchen an, gibt der spiegelnden Fläche desselben eine Neigung von 45° gegen die Axe des Instrumentes (die gemeinschaftliche Axe des Objectivs, Collectivs und Oculars), und stellt hinter dem Spiegelchen (auf der von der spiegelnden Fläche abgewendeten Seite) und, vom Oculare aus gerechnet, in der Sehweite einen z. B. in Wiener Linien getheilten Maßstab vertikal auf. Sieht man nun horizontal in das Spiegelchen und zugleich an der Seite desselben vorbei nach dem Maßstabe hin, so nimmt man bei gehöriger Stellung des letzteren das Bild einer gewissen Anzahl Unterabtheilungen des Mikrometers dicht neben dem Maßstabe wahr, kann genau beurtheilen, über wie viele Unterabtheilungen desselben sich das Bild erstreckt, und erhält dann durch Division mit der wirklichen Länge aller wahrgenommenen Mikrometer-Abtheilungen in die Summe der Maßstabstheile, über welche ihr Bild sich erstreckt, die durch das Objectiv-Collectiv und durch das Ocular bewirkte Vergrößerung, also die Totalvergrößerung des ganzen Mikroskopes. In Fig. 618 ist s das kleine Metallspiegelchen (ursprünglich von Sömmerring, wenngleich zu einem andern Zwecke, angewendet und daher das Sömmerring'sche Spiegelchen genannt); es wird dadurch an den gehörigen Platz gebracht, daß man an dem das Doppelocular enthaltenden Theile a des Mikroskopkörpers einen dasselbe tragenden Ring r mittelst Schrauben 1, 2, 3 festmacht und dann die cylindrischen Stäbchen m, n, welche in den Hülsen h, h_1 gedreht, verschoben und festgestellt werden können, in die entsprechenden Stellungen bringt. B ist ein vertikales Bretchen mit einer längst desselben verschiebbaren Längenscale **LS**, eine Vorrichtung, welche einem gewöhnlichen Maßstabe vorzuziehen ist.

Fig. 618.



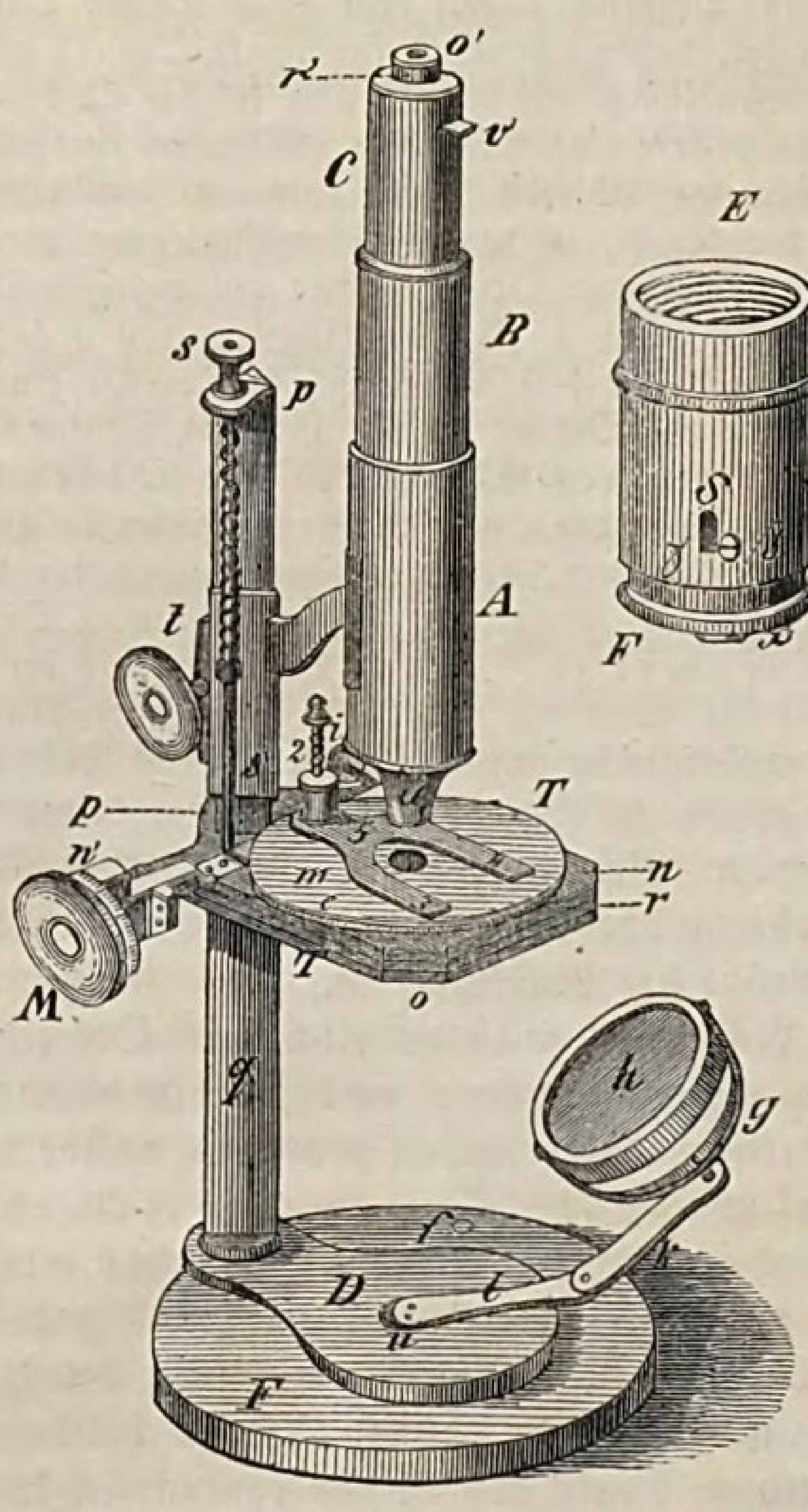
Um bei dem nämlichen zusammengesetzten Mikroskope verschieden starke Vergrößerungen zu erzielen, hat in der Regel jedes solche Instrument mehrere Objective und mehrere Oculare von verschiedenen Brennweiten; durch verschiedene Combinationen dieser Gläser werden nun die verschiedenen Vergrößerungen erhalten. Die ausgezeichneten Plößl'schen Mikroskope größter Gattung haben sechs (von 1 bis 6 nummerirte und wie sich von selbst versteht, achromatische) Objective, die sich in verschiedener Ordnung aneinander schrauben lassen, überdies noch ein siebentes für sich anzuwendendes Objectiv, das Plößl den starken Linseneinsatz nennt, und vier Oculare, wovon das eine aplanatisch und mit dieser Benennung bezeichnet ist, die andern drei die Nummern **I**, **II** und **III** tragen. Von den Objectiven werden aus früher entwickelten Gründen selten einzelne, sondern stets zwei oder drei an einander geschraubt, angewendet.

Bei den besagten Plößl'schen Instrumenten wird nur das Objectiv 1 und 7 (der starke Einsatz), jedes für sich allein, die andern werden in den Combinationen 1 + 2, 1 + 2 + 3 und 4 + 5 + 6 angewendet, und es gibt das Objectiv 1 mit dem aplanatischen Oculare, (welches die Gegenstände heller und schärfer zeigt, daher besonders für opake Objecte gut gebrauchbar ist,) die schwächste, und der starke Linseneinsatz mit dem Ocular III die stärkste Vergrößerung. Bei einem dieser Instrumente war erstere eine 24malige und letztere eine 840malige dem Durchmesser nach, und von den bezeichneten Objectiv-Combinationen gibt jede eine desto stärkere Vergrößerung, je später sie in der Reihe, in der die Combinationen oben angeführt sind, folgt und mit einem je höher nummerirten Oculare (das aplanatische Ocular als Nr. 0 betrachtet,) sie angewendet wird. So gibt z. B. die Combination 1 + 2 mit dem Ocular I eine 72malige und die Combination 1 + 2 + 3 mit demselben Oculare eine 120 malige Vergrößerung und 1 + 2 + 3 vergrößert mit Ocular I 105 und mit Ocular II 180 Mal. Bei den gleichfalls vortrefflichen Mikroskopen von Chevalier und Oberhäuser in Paris sind die, verschiedene Vergrößerungen liefernden, aus 2 und 3 Linsen bestehenden Objectiv-Combinationen nicht auseinander schraubbar, um das beim Umschrauben der Linsen leicht stattfindende Beschmutzen derselben zu vermeiden. Außer den bereits genannten Optikern sind noch vorzüglich Schiek in Berlin und Nobert zu Barth in Pommern als berühmte Verfertiger von Mikroskopen erster Qualität zu nennen. Die Nobert'schen Instrumente haben 10—12 Objective, die mit 3 Ocularen Vergrößerungen von 30—2200 Mal geben.

Ad 4. Wie uns aus Früherem her klar ist, wächst die Vergrößerung unter übrigens gleichen Umständen mit Abnahme der Brennweite des Objectivs und des Oculars. Es wird aber in dieser Beziehung der erzielbaren Vergrößerung durch die nothwendige Rücksicht auf gehörige Größe der Lichtstärke und des Gesichtsfeldes eine Grenze gesetzt. In Bezug auf die Lichtstärke muß nämlich das Objectivglas immer eine hinlängliche Oeffnung haben und darf daher, weil sonst bei demselben die Aufhebung der sphärischen und chromatischen Abweichung große, ja unüberwindliche Schwierigkeiten macht, nicht zu stark convex (nicht mit zu kleiner Brennweite versehen) sein. Um ein hinreichend großes Gesichtsfeld zu erzielen, muß auch das Ocular eine die Convexität desselben und somit die Vergrößerung beschränkende große Oeffnung erhalten. Denn wegen Kleinheit des Objectivglases kann durch dasselbe von jedem Punkte des Gegenstandes nur ein sehr dünner Lichtbüschel durchgehen; dieser kann, wenn er nachher zu einem Punkt des Bildes concentrirt worden und von da an sich wieder ausbreitet, keineswegs das ganze Ocularglas bedecken, sondern fällt nur auf einen sehr kleinen Theil der Oberfläche desselben. Hat das Ocularglas keine große Ausdehnung, so treffen nur von wenigen Punkten des Gegenstandes Lichtbüschel auf dasselbe, die von den übrigen Punkten kommenden Büschel verfehlen es, gehen daher für das Auge verloren, und dieses übersieht also nur einen kleinen Raum d. h. das Instrument hat nur ein kleines Gesichtsfeld. Zur Vergrößerung des Gesichtsfeldes trägt auch das Collectivglas (C in Fig. 617) wesentlich bei, indem es die aus dem Objective kommenden, auseinander gehenden Strahlenbündel in einen kleineren Raum concentrirt und zu einem kleineren Bilde ($a_2 b_2$ Fig. 617) sammelt, so daß ein größerer Theil des Gegenstandes durch ein gegebenes Ocular zu Gesicht gebracht wird. Endlich hat auf die Größe des Gesichtsfeldes auch noch die Stellung des Auges Einfluß. Dasselbe muß sich nämlich zur Erzielung des möglich größten Gesichtsfeldes in jenem Punkte (D der früheren Fig. 617) befinden, nach welchen hin die äußersten aus dem Oculare austretenden, von den verschiedenen Punkten des letzten Bildes ($a_3 b_3$ derselben Figur) herkommend erscheinenden Strahlen zusammenlaufen, und von welchem dieses Bild gerade um die Sehweite absteht. Geschätzt wird die Größe des Gesichtsfeldes am leichtesten und sichersten nach der Anzahl Abtheilungen, die man bei einem als Object eingesetzten Glasmikrometer auf ein Mal deutlich übersieht.

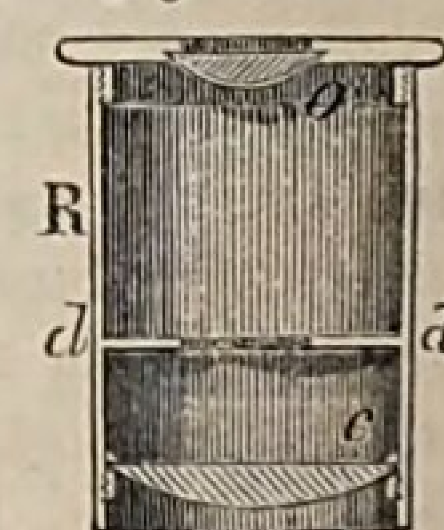
Nun soll noch die genauere, durch Fig. 619 erläuterte Beschreibung eines Plößl'schen zusammengesetzten Mikroskopes größter Art und neuester Einrichtung folgen. Sie dürfte eine gehörige Vorstellung geben von der Anordnung der bereits beschriebenen Bestandtheile eines solchen Instrumentes und zugleich von

Fig. 619.



der Anwendung eines Schraubenmikrometers (S. 136) bei demselben zum Messen sehr kleiner Objecte. **AB** ist ein messingenes Rohr, in welches unten an einem verengten Theile a die aplanatischen Objective (Seite 679) eingeschraubt werden. Der Theil **B** ist in **A** rings herum drehbar und enthält eine dritte Röhre **C** eingeschraubt, in welche die Doppeloculare **I, II** oder **III** eingeschoben werden. Bei jedem dieser Oculare sind nämlich die zwei dasselbe bildenden Planconvexlinsen (**C** und **O'** Fig. 617) in gegen einander unverrückbarer Stellung in einer kurzen Messingröhre (**R** Fig. 620), von der ganzen Höhe nach gleichem Durchmesser, eingesetzt und diese wird in die Röhre **C** eingeschoben. Das aplanatische Ocular wird anstatt der Röhre **C**, mit der es äußerlich gleich gestaltet ist, in **B** eingeschraubt. Jede Ocularröhre ist, um alle Lichtreflexion von ihren Wänden zu verhüten, an der Innenfläche geschwärzt (dasselbe ist aus gleichem Grunde auch bei den Röhren **A**, **B** der Fall) und enthält zwischen dem Ocularglase **O'** und der Collectivlinse **C**, gerade an der Stelle, wo das durch letztere Linse zu Stande kommende Bild ($a_2 b_2$ Fig. 617) hinfällt, zum Behuf der Abhaltung der durch den Rand von **C** gehenden Strahlen, ein ebenfalls geschwärztes Diaphragma **d**. Der ganze die Gläser enthaltende Körper **A B C** läßt sich mittelst eines Triebwerkes bei **t** längst des massiven stählernen Prismas p auf und ab bewegen, welches wieder in dem hohlen messingenen Prisma q auf und ab beweglich ist, das von der auf der Fußplatte **F** in horizontaler Richtung rings herum drehbaren Scheibe **D** getragen wird. Durch das Triebwerk **t** erhält der Röhrenkörper **A B C** nur gröbere Bewegungen; die zu genauer Einstellung desselben gegen das zu betrachtende Objectchen erforderlichen ganz feinen Bewegungen werden ihm mittelst der Mikrometerschraube **s s** ertheilt, welche das stählerne Prisma p sammt dem Körper **A B C** in dem hohlen messingenen Prisma q auf und ab verschiebt. An letzterem Prisma q ist auch der Objectentisch **T T** horizontal festgemacht, der die zu betrachtenden Objecte zu tragen und festzuhalten bestimmt ist. Er besteht aus einer in der Mitte mit einem runden Loche versehenen Scheibe m, die sich um ihre (durch das Centrum des Loches gehende) vertikale Axe drehen läßt und von 3 übereinander liegenden Platten n, o, r getragen wird, wovon die unterste **o** unverrückbar feststeht, die mittlere **r** darauf durch die Mikrometerschraube **M** von einer Seite zur andern hin bewegt und die dritte **n** mittelst der Schraube **i** auf der Platte **r** (um einen beiläufig unterhalb **c** gelegenen

Fig. 620.



Drehpunkt) etwas vor und rückwärts gedreht werden kann, durch welche Einrichtung sich dem Objectchen alle während der Beobachtung desselben erforderlichen Bewegungen durch das Gesichtsfeld des Mikroskopes ertheilen lassen. Die durch die Spiralfeder 2 stets gegen die Scheibe m gedrückte messingene Gabel 3, 4, 5 dient, um zwischen ihr und m die Objectenschieber einzuklemmen und auf dem Objectentische festzuhalten. Der zur Beleuchtung durchsichtiger mikroskopischer Objectchen bestimmte Hohlspiegel h kann, indem er in der Gabel g, diese im Arme k, der mit k in einem Gelenke vereinigte Arm l um eine in der Fußplatte **F** laufende und durch die Scheibe **D** frei emporgehende Axe u drehbar ist, jede zur Erzielung gehöriger Beleuchtung zweckdienliche Stellung erhalten, namentlich wie es zur Betrachtung ganz feiner Objectchen erforderlich ist, excentrisch (außer die Axe von **A B C**) gestellt werden. Auf der Rückseite des Hohlspiegels ist eine ebene geschwärzte Platte angebracht, um bei Betrachtung opaker Objecte einen dunklen Hintergrund abzugeben. Für derlei (opake) Objecte kann ohnehin der Hohlspiegel nicht zur Beleuchtung dienen, sondern diese wird mittelst einer zur Seite des Mikroskopes und über dem Objectentische angebrachten Selligue'schen prismatischen Linse, d. i. eines rechtwinkeligen dreiseitigen Prismas, woran die Kathetenflächen sphärisch convex sind, bewerkstelligt. Das Prisma ist so zu stellen, daß die durch die eine convexe Fläche einfallenden und gebrochenen Lichtstrahlen, nachdem sie von der ebenen Hypothenusfläche des Prismas reflektirt und dann in der zweiten convexen Fläche abermals gebrochen worden sind, concentrirt dem Objectchen zukommen. Das Prisma ist in einer Gabel um seine Axe drehbar, und die Gabel wird von einer Auszugsröhre getragen, die sich mit ihrem untern, einen Zapfen bildenden Ende in einem Loche f der Fußplatte **F** feststecken läßt. Außer dem besagten Beleuchtungsprisma ist den Plößl'schen Mikroskopen auch immer noch eine zu gleichem Zwecke dienende große Sammellinse beigegeben, die, von einem eigenen Fuß getragen, auch seitwärts über dem Objectentisch und so aufgestellt wird, daß sie dem nahe an ihrem Brennpunkte befindlichen Objectchen concentrirtes Licht von oben herab zuschickt, und welche auch bei transparenten Objecten nebst dem ihnen von unten hinauf concentrirtes Licht zusendenden Hohlspiegel und zwar zur Verstärkung des Lichtes in den Fällen angewendet wird, wo es sich um stärkere Vergrößerungen handelt. Um die Beleuchtung durch den Spiegel in den Fällen, wo sie zu stark ist, die genaue Beobachtung des betreffenden Objectchens nämlich schwächeres Licht verlangt, in verschiedenen Graden mäßigen zu können, ist zunächst unterhalb des Objecttisches **T** eine Scheibe mit 4 oder 5 runden Oeffnungen verschiedener Größe angebracht, die, ein bewegliches Diaphragma darstellend, sich in einer zum Tisch parallelen Ebene drehen läßt, so daß man nach Bedürfniß eine desto kleinere dieser Oeffnungen gerade unter das runde Loch in der Mitte der Scheibe m bringen kann, eine je geringere Lichtmenge man vom Spiegel zum Objecte gelangen lassen will. An der Röhre **C** stellt v einen (aus einem länglich rechteckigen Messingstreifen bestehenden) Schieber vor, wie er durch einen in dieser Röhre vorhandenen horizontalen Schlitz und durch einen zweiten solchen Schlitz horizontal eingeschoben ist, der in dem in **C** ganz eingeschobenen Oculareinsatze Nr. **II** enhalten und dem ersteren Schlitze correspondirend gestellt worden. Hat dieser Schieber an gehöriger Stelle ein Glasmikrometer eingesetzt, so befindet sich dieses, während er ganz eingeschoben ist, gerade über dem Diaphragma (d Fig. 620) zwischen den Gläsern des Doppeloculars **II** an der Stelle, wo das hinter der Collectivlinse zu Stande kommende Bild hinfällt, wie es (S. 683) zur Ermittlung der Vergrößerung des Objectivs + Collectivs des Mikroskopes bei der 2. Methode, die vergrößernde Kraft dieses Instrumentes zu bestimmen, erforderlich ist. Um an dem Oculareinsatze **II** das eigentliche Ocular 0′, durch welches das Mikrometer betrachtet wird, für das Auge immer so einstellen zu können, daß das Mikrometer deutlich gesehen wird, ist der besagte Oculareinsatz **II** aus zwei Röhren

zusammengesetzt, wovon die eine r' nur das eigentliche Ocular, die zweite aber das Collectivglas (C) und das Diaphragma (d) enthält und erstere mittelst eines an ihr vorhandenen Schraubengewindes in letzterer sich auf und ab schrauben läßt. Daß bei gewöhnlichem Gebrauche des Mikroskops der Schieber mit dem Mikrometer nicht eingeschoben ist und dann der betreffende Schlitz in C durch die Röhre des in C eingeschobenen Oculareinsatzes gedeckt wird, leuchtet von selbst ein.

M ist der Kopf einer Mikrometerschraube, die horizontal durch den Objectentisch hingeht und durch welche nach ihrer Richtung den Platten n, r miteinander eine sehr feine Bewegung hin und her gegeben werden kann. Der Umfang des Kopfes M ist in 100 Theile getheilt, und läßt sich mit Hilfe eines Nonius n' in 1000 Theile theilen, so daß die durch jede einzelne Umdrehung der Schraube bewirkte Verrückung des Objectentisches in Tausendtel getheilt werden kann. In den Oculareinsatz H läßt sich an die Stelle des das Mikrometer enthaltenden Schiebers (bei v) ein diesem ähnlicher Schieber einstecken, der auf dem in ihm eingesetzten runden Planglasscheibchen zwei sehr feine, senkrecht sich kreuzende Linien eingerissen enthält, welche (die Spinnenfäden der sonst üblichen Fadenkreuze ersetzend), wenn der Schieber durch C in den besagten Ocularensatz ganz eingeschoben ist, gerade über der Blendung (d Fig. 620) dieses Einsatzes und so stehen, daß ihr Kreuzungspunkt in der Axe des Ocularensatzes sich befindet, und eine dieser Linien der Axe der Mikrometerschraube M genau parallel ist, wo man dann durch das Ocular o', bei gehöriger Einstellung desselben mittelst der Schraube r' die Kreuzlinien zugleich mit dem Bilde des Objectchens deutlich sieht. Will man nun z. B. den Durchmesser eines mikroskopischen Objectchens messen, so ist dieses auf dem Objecttische so einzustellen, daß die auf der Mikrometerschraubenaxe senkrechte Linie des Linienkreuzes das eine Ende des zu messenden Durchmessers tangirt, und hierauf ist mittelst der Mikrometerschraube das Objectchen (natürlich geschieht dies zugleich mit dem Objecttische) um den zu messenden Durchmesser unter der eben erwähnten senkrechten (feststehenden) Linie hinzuwegen. Die Plößl'schen Mikrometerschrauben gestatten die Messung eines Hunderttausendtels des Wiener Zolles.

Schließlich muß auch noch angeführt werden, daß Plößl dem im Vorhergehenden besprochenen starken Objectivlinsen-Einsatze die sehr schätzenswerthe Einrichtung gibt, daß er sowohl für bloßliegende als für mit Deckgläschen bedeckte Objectchen gleich gute Dienste leistet (was sonst natürlich nicht der Fall ist, weil bei einem für bloßliegende Objectchen berechneten Objectiv-Einsatze ein jedes Deckgläschen den in Bezug auf sphärische und chromatische Abweichung erzielten Grad der Vollkommenheit, mithin die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes mehr weniger wieder aufhebt.) Die diese wesentliche Verbesserung betreffende Einrichtung des besagten Objectiv-Einsatzes, welche man aus Fig. 619 bei E ersieht, wo dieser ganze Einsatz in nahe natürlicher Größe abgebildet ist, besteht darin, daß die unterste kleine Linse α gegen die andern in der aus zwei in einander verschiebbaren Theilen bestehenden Fassung EF des ganzen Objectiveinsatzes noch enthaltenen Linsen sich entsprechend verstellen läßt. Für mit Deckgläschen bedeckte Objectchen dreht man den untern (allein die Linse α enthaltenden) ränderirten inneren Fassungstheil F aus der in der Figur repräsentirten Stellung von rechts nach links, bis das kleine Schräubchen bei β, welches in dem besagten inneren Fassungstheile F festgeschraubt ist und durch einen im äußeren Fassungstheile E vorhandenen rechtwinklichen Schlitz $\beta\gamma\delta$ durchgeht, aus dem horizontalen Theile $\beta\gamma$ dieses Schlitzes in den vertikalen $\gamma\delta$ angelangt ist, und schiebt hierauf F in E ein, bis das besagte Schräubchen bei δ ansteht; für bloßliegende Objecte hingegen wird der Objectiveinsatz so gebraucht, wie ihn die Figur darstellt, wo nämlich F mit der kleinen Linse α aus E herausgezogen und durch Eindrehen des Schräubchens β in den horizontalen Theil ($\beta\gamma$) des erwähnten Schlitzes festgestellt ist.

Prüfung eines zusammengesetzten Mikroskopes. Handelt es sich um die Beurtheilung des Grades der Güte eines zusammengesetzten Mikroskopes, so muß es (gemäß S. 682) in Bezug auf Helligkeit (Klarheit) . . . (a), Deutlichkeit der Bilder . . . (b), Größe und Reinheit des Gesichtsfeldes . . . (c) und Stärke der Vergrößerung . . . (d) geprüft werden. **Ad** (a). Ein Mikroskop, welches man ein gutes nennen soll können, muß bei Beleuchtung durch gewöhnliches Tageslicht oder eine einfache Kerzenflamme, selbst noch bei 300facher Vergrößerung, hinreichend helle Bilder geben. Bei einer je stärkeren Vergrößerung ein Mikroskop noch hinreichende Helligkeit besitzt, desto vorzüglicher ist es unter übrigens gleichen Umständen. **Ad** (b). Die Bilder müssen scharf begrenzt, die einzelnen Theile derselben bestimmt hervortretend und an allen Stellen des Gesichtsfeldes deutlich erscheinen, und man muß in dem Bilde schon bei mäßigen Vergrößerungen manches feinere Detail sehen, welches bei geringerem Grade von Deutlichkeit immer erst bei stärkeren Vergrößerungen wahrgenommen wird. Man betrachtet daher, zum Behuf der Prüfung des Instrumentes in dieser Richtung, durch dasselbe gewisse Objecte mit sehr feinen Details und bedient sich aus diesem Grunde gewöhnlich der Schuppen der Schmetterlingsflügel und insbesondere jener der Flügel der Kleidermotte, welche Schuppen unter dem Mikroskope als Federn mit Kiel und Bart erscheinen und auf der Oberfläche bei desto geringerer Vergrößerung parallele Streifen oder Linien getrennt und desto schärfer hervortretend zeigen, in je höherem Grade die Eigenschaft der Deutlichkeit dem Instrumente zukömmt. Allein nicht nur an den Schuppen verschiedener Schmetterlinge, sondern selbst an jenen eines und desselben Individuums haben diese Streifen und Linien einen sehr ungleichen Abstand von einander, so daß sie, damit sie getrennt erscheinen, schon deswegen unter sonst gleichen Umständen verschiedene Vergrößerungen erfordern, also keine stets gleichen und sicheren Vergleichungsobjecte für Mikroskope abgeben können. Solche Objecte sind aber in vollem Maße Gruppen von in bestimmten Abständen auf Glas radirten Parallellinien. F. A. Nobert, dessen schon oben Erwähnung geschah, hat diese Prüfungsobjecte zuerst in Vorschlag und Anwendung gebracht und fertigt sie auch in vorzüglicher Güte an. Jede seiner derartigen Glasplatten enthält auf der Mitte in der Breiteausdehnung von etwa $\frac{1}{4}$ Linie zehn verschiedene Gruppen unter sich durch sehr kleine Zwischenräume getrennter Parallellinien und zwar beträgt der gegenseitige Abstand der einzelnen Linien in der 1. Gruppe $\frac{1}{1000}'''$, in der 10. Gruppe $\frac{1}{4000}'''$, die acht Zwischengruppen bilden rücksichtlich der gegenseitigen Entfernung der Parellellinien Glieder einer geometrischen Reihe, und diese Entfernung in denselben der Reihe nach hat die Werthe: $0'''{\cdot}000857$, $0'''{\cdot}000735$, $0'''{\cdot}000630$, $0'''{\cdot}000540$, $0'''{\cdot}000463$, $0'''{\cdot}000397$, $0'''{\cdot}000340$, $0'''{\cdot}000292$. Die neuesten Probe-Mikrometer, die Nobert liefert, enthalten 15 Gruppen, wovon die erste 7 Linien und jede folgende immer um eine Linie mehr als die vorhergehende, mithin die letzte 21 Linien hat. Alle 15 Gruppen sammt den Zwischenräumen zwischen je zweien derselben erscheinen zusammen dem freien Auge nicht dicker als eine mit der Feder gezogene Linie. Vorzügliche Mikroskope mit aplanatischen, übereinander geschraubten Objectiven zeigen bei einer etwa 70maligen Vergrößerung die Linien der ersten Gruppe getrennt, während jene der andern Gruppen noch ungetrennt bleiben. Steigt man mit der Vergrößerung, so werden die spätern Gruppen in ihre Linien zerlegt, bis auf die letzte Gruppe bei den Mikrometern mit 10 Gruppen, die noch durch kein Mikroskop zerlegt beobachtet wurde. **Ad** (c). Das Gesichtsfeld muß nicht nur in der Mitte, sondern auch am äußersten Rande rein und farblos sein und eine hinreichende Größe haben. Je beträchtlicher diese ist (und man mißt sie, wie schon Seite 685 unter **Ad** 4 erwähnt worden, nach der Anzahl Unterabtheilungen eines als Object eingesetzten Glasmikrometers, die man durch das

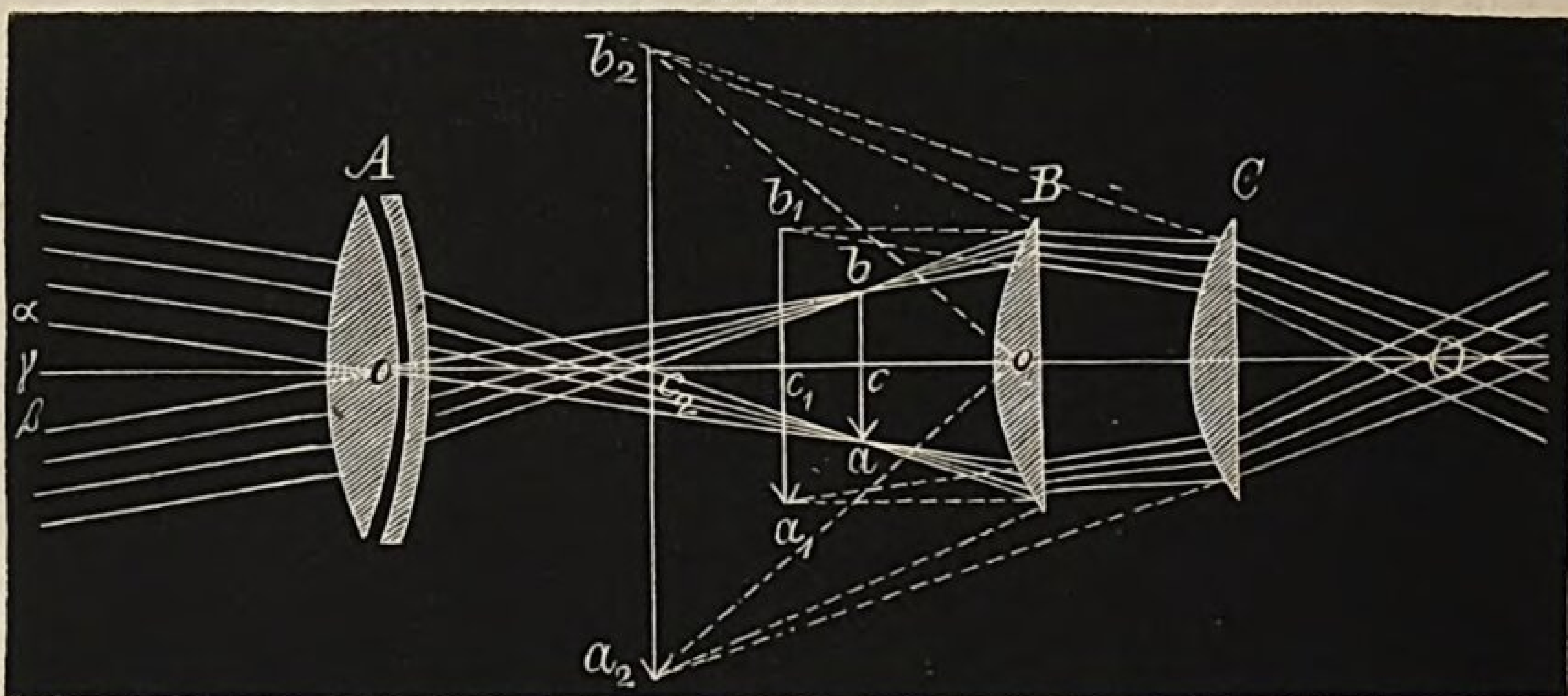
Ocular des Mikroskopes (auf einmal übersieht), desto vollkommener ist das Mikroskop unter sonst gleichen Verhältnissen. **Ad** (d). Das hierauf Bezügliche ist schon S. **683** unter **Ad** 3. gesagt worden.

Die katoptrischen zusammengesetzten Mikroskope, d. i. jene, die als Objectiv anstatt Linsen einen kleinen Hohlspiegel haben, können, da sie mehrseitigen Mangels wegen ganz außer Gebrauch gekommen sind, hier füglich übergangen werden.

314. Von den Teleskopen oder Fernröhren. Sie dienen dazu, um entfernte Gegenstände größer als mit freiem Auge und deutlich zu sehen, und sind ebenfalls entweder dioptrische oder katoptrische. Die ersteren werden, je nachdem sie groß oder klein sind, auch Refraktoren oder Perspektive genannt; große katoptrische Fernröhre heißen auch Reflektoren. Wie bei den zusammengesetzten Mikroskopen bildet auch bei jedem Fernrohre ein Objectiv und ein Ocular die wesentlichen Bestandtheile. Dioptrische Fernröhre haben eine Sammellinse, katoptrische einen Hohlspiegel zum Objectiv. Das Ocular besteht immer aus Sammellinsen; nur in einem einzigen Falle aus einer Zerstreuungslinse. Wir wollen nun zuerst von den dioptrischen Fernröhren, nämlich von dem astronomischen Fernrohre, dem Erdfernrohre und dem holländischen oder Galiläischen Fernrohre ausführlicher handeln und nachher die fast nur mehr einen historischen Werth besitzenden katoptrischen Fernröhre von Herschel, Newton, Gregory und Cassegrain ganz kurz besprechen.

315. Das astronomische Fernrohr. Die Anordnung und Wirkung seiner Gläser macht die Figur 621 ersichtlich. Das verkehrte Bild **ab**, welches

Fig. 621.



das aus einer Crown- und einer Flintglaslinse zusammengesetzte achromatische Objectiv **A** von einem auf der andern Seite desselben befindlichen leuchtenden Gegenstande erzeugt, wird durch ein aus zwei Sammellinsen **B**, **C** bestehendes, als einfaches Mikroskop wirkendes Doppelocular betrachtet. Man sieht so ein Bild $a_2 b_2$, welches bezüglich des Bildes **ab** aufrecht, mithin wie dieses in Bezug auf den Gegenstand verkehrt, ferner immer vergrößert ist und in der deutlichen Sehweite erscheinen muß . . . (1). Der leuchtende Gegenstand wird als so weit entfernt vorausgesetzt, daß die von jedem Punkte desselben auf das Objectiv gelangenden Strahlen als parallel angesehen werden können. Die von den einzelnen Punkten des Bildes **ab** weiter auf die Linse **B** fallenden Strahlen treten aus dieser so aus, als kämen sie von einem Gegenstande $a_1 b_1$ her, und werden endlich durch das Glas **C** so gebrochen und dem Auge **O** zugeführt, daß sie diesem vom Bilde $a_2 b_2$ auszugehen scheinen. Da bei Abnahme der Entfernung des leuchtenden Gegenstandes vom Objective nach **B**). Seite 655 das Bild **ab** von diesem Glase weg, daher näher an das Ocular (Doppelocular) rückt, und im umgekehrten Falle das Entgegengesetzte stattfindet; so muß, damit der Bedingung (1) stets Genüge geleistet werden könne, dieses Ocular gegen

das Objectiv verstellbar sein. Zu diesem Ende sind die zwei das Ocular bildenden Sammellinsen (gegen einander unverrückbar) in einer eigenen Röhre eingeschlossen, die sich in dem das Objectiv enthaltenden Hauptrohre verschieben läßt. Hat man also das Fernrohr so gerichtet, daß es Gegenstände gewisser Entfernung deutlich zeigt, so muß das Ocular dem Objective genähert oder von demselben entfernt (die Ocularröhre eingeschoben oder ausgezogen) werden, je nachdem man Gegenstände größerer oder kleinerer Entfernung als im vorigen Falle mit der nämlichen Deutlichkeit sehen will. Das Einschieben oder Ausziehen des Ocularrohres ist übrigens auch nöthig, um das Fernrohr den verschiedenen Gesichtsweiten anzupassen . . . (2). Rücksichtlich des Doppeloculars ist ferner unter Hinweisung auf die Figur 617 und 621 noch darauf aufmerksam zu machen, daß das Collectivglas (**B** Fig. 621) hier nicht wie beim zusammengesetzten Mikroskope zwischen dem Objective und dem Bilde (**a b** Fig. 617), welches von diesem allein erzeugt werden würde, sondern zwischen diesem Bilde und dem eigentlichen Ocularglase **C** steht, eine Anordnung, welche von R a m s d e n herrührt und bei Fernröhren der von C a m p a n i angegebenen Einrichtung des Doppeloculars beim Mikroskope dann vorzuziehen ist, wenn über das vom Objectivglase hervorgebrachte Bild Fäden gespannt erscheinen sollen, wie dies in allen Fällen nöthig ist, wo es sich um scharfe Fixirung der Richtung handelt, in welcher die Lichtstrahlen z. B. eines Gestirnes zum Auge gelangen; denn durch das oberwähnte, aus unter (2) angegebenem Grunde erforderliche Einschieben oder Ausziehen der Ocularröhre würden nothwendig zugleich die Fäden in Bewegung gesetzt werden und wofern nicht diese Bewegung ganz genau in der optischen Axe (in der gemeinschaftlichen Axe aller Linsen) des Fernrohrs erfolgte, was fast unmöglich vorauszusetzen ist, würden die successiven Durchgänge des Gestirns unter einander nicht mehr vergleichbar sein.

Die Vergrößerung des in Rede stehenden Fernrohres ist durch die Zahl gegeben, welche anzeigt, wie oft der Winkel, unter welchem das Object in einer gewissen Entfernung mit freiem Auge gesehen wird, in dem Winkel enthalten ist, unter welchem es durch das Fernrohr erscheint. Um einzusehen, wie sich diese Zahl bestimmen lasse, wollen wir vorläufig das Ocular nur aus einer einzigen Linse, z. B. **B**, bestehend, uns also die Linse **C** ganz hinweg denken. Wird unter Vernachlässigung der geringen Dicke der Linse **B** das Auge in ihrem Mittelpunkte o_1 befindlich angenommen, und ferner der im Verhältniß zur immer großen Entfernung des Objectes sehr kleine Abstand der Linse **B** von der Linse **A** vernachlässigt; so ist der Sehwinkel für das freie Auge $\alpha o \beta$ und mit dem Fernrohre $a_2 o_1 b_2$. Setzt man für diese Winkel ihre Hälften $\alpha o \gamma$ und $a_2 o_1 c_2$ und wegen ihrer Kleinheit die Tangenten; so hat man die Vergrößerungszahl $\nu = \frac{\text{tang. } a_2 o_1 c_2}{\text{tang. } \alpha o \gamma}$ oder wegen $\alpha o \gamma = a o c$, $\nu = \frac{\text{tang. } a_2 o_1 c_2}{\text{tang. } a o c}$. Nun ist tang. $a_2 o_1 c_2 = \frac{a_2 c_2}{c_2 o_1} = \frac{a c}{c o_1}$ und tang. $a o c = \frac{a c}{c o}$; es ergibt sich also durch Substitution $\nu = \frac{a c}{c o_1} : \frac{a c}{c o} = \frac{c o}{c o_1}$. Wegen der stets großen Entfernung des Gegenstandes vom Objective kann $c o$ der Focaldistanz f dieses letzteren gleich gesetzt werden. Ferner hat man, wenn f_1 die Focaldistanz des Ocularglases **B** und d den Unterschied zwischen dieser Focaldistanz und der Entfernung $c o_1$ des innerhalb die Brennweite f_1 fallenden Bildes **a b** bezeichnet, $c o_1 = f_1 - d$, mithin $\nu = \frac{f}{f_1 - d}$. Nun ist aber d immer eine so kleine Größe, daß sie vernachlässigt werden kann; mithin ist $\nu = \frac{f}{f_1}$ d. h. man erhält die Vergrößerung eines astronomischen Fernrohrs mit

einfachem Oculare, wenn man die Brennweite des Objectivs durch die Brennweite des Oculars dividirt. . . . . . (164)

Die Vergrößerung mit doppeltem Oculare ergibt sich, wenn statt f_1 die Brennweite jener einfachen Linse gesetzt wird, die dem Doppeloculare äquivalent ist (mit demselben gleiche Brennweite hat) und auf welche sich dieses Ocular immer reduziren läßt. (Man sehe die Anmerkung **) auf S. 671.)

Sind die Brennweiten (des Objectivs und des Oculars) nicht bekannt, so läßt sich die Vergrößerung des Fernrohres, jedoch nur näherungsweise, dadurch bestimmen, daß man einen mit gleichen Abtheilungen versehenen Gegenstand, z. B. ein Ziegeldach, mit dem einen Auge durch das Fernrohr, zugleich aber nebenher mit dem andern frei betrachtet und beobachtet, welche Zahl einzelner Ziegel (oder Ziegelreihen) von dem durch das Fernrohr wahrgenommenen Bilde einer gewissen Anzahl Ziegel oder Ziegelreihen bedeckt wird. Die Division der ersteren Zahl durch die letztere gibt dann natürlich die gesuchte Vergrößerung. Mehr Genauigkeit gewährt diese Methode, wenn der betrachtete Gegenstand ein in entsprechender Entfernung aufgestellter Maßstab oder eine Reihe in gleichen Abständen von einander stehender Stäbe o. dgl. ist.

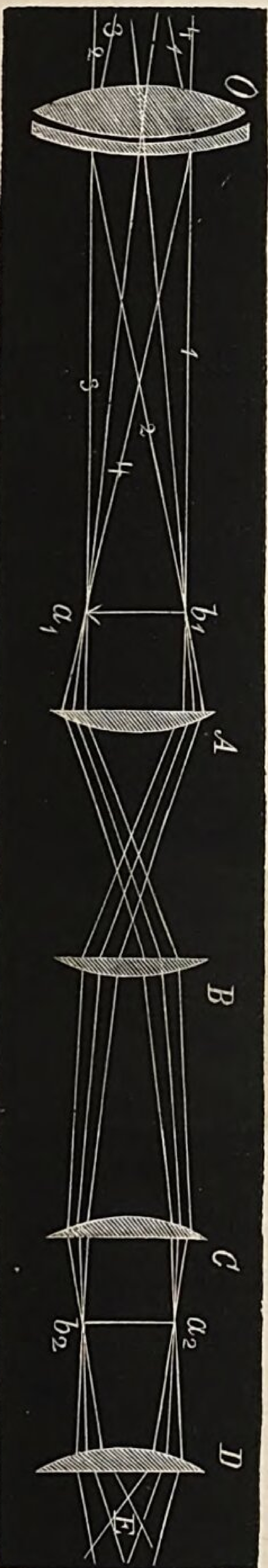
Da die Vergrößerung unter sonst gleichen Umständen von der vergrößernden Kraft des Oculars abhängt und mit dieser wächst, so hat das Fernrohr, um verschiedene Vergrößerungen zu gestatten, gewöhnlich mehrere (schwächer und stärker vergrößernde) Oculare.

Die Lichtstärke (Helligkeit) des Bildes fordert, daß durch das Fernrohr von dem Objecte recht viel Licht dem Auge zugeleitet werde; daher muß das Objectiv eine große Oeffnung haben, damit es von jedem Punkte des Objectes einen großen Lichtkegel aufnehmen kann. Die Lichtstärke des Fernrohrs wächst bei gleicher Vergrößerung und gleicher Oeffnung des Oculars in quadratischem Verhältnisse mit dem Durchmesser des Objectivs. Das Bedürfniß eines großen Objectivglases stellt sich um so mehr bei starken Vergrößerungen heraus, weil die Helligkeit des Bildes unter sonst gleichen Umständen mit der Vergrößerung abnimmt. Je stärker nämlich das Fernrohr den betrachteten Gegenstand vergrößert, auf eine desto größere Fläche wird das von ihm ausgehende Licht verbreitet, desto schwächer wird dieses daher in jedem einzelnen Punkte. Große und zugleich an allen Stellen gleichförmig dichte Glasstücke, wie sie zu größeren Objectiven erfordert werden, sind aber, insbesondere bei Flintglas, aus dem in der Anmerkung auf S. 672 angeführten Grunde, äußerst schwer zu erhalten. In dieser Beziehung ist die sogenannte dialytische Einrichtung so vortheilhaft, nach welcher die zwei Linsen des achromatischen Objectivs des Fernrohrs nicht ganz nahe an einander stehen, sondern so angeordnet sind, daß die Sammellinse aus Crownglas am Ende des Rohres und die Zerstreuungslinse aus Flintglas in größerer Entfernung davon (nach dem zweiten Ende des Rohres hin) sich befindet. Die Flintglaslinse kann da, indem die aus der converen Crownglaslinse austretenden Strahlen convergirend auf die Flintglaslinse fallen, der Querschnitt jedes aus ersterer Linse austretenden Strahlenkegels also mit der Entfernung von dieser abnimmt, viel kleiner sein (sie braucht in der That nur halbmal so viel Oeffnung zu haben) als die Crownglaslinse, so daß man mit kleineren Flintglasstücken ausreicht. Außerdem gewährt diese von Littrow berechnete und von Plößl zuerst ausgeführte dialytische Einrichtung noch die Vortheile einer größeren Lichtstärke und Schärfe des Bildes, als unter sonst gleichen Umständen mit nicht dialytischen achromatischen Linsen erzielt werden kann, und gestattet zugleich eine Verkürzung des Fernrohrs.

Das Gesichtsfeld (der Raum, den man durch das Fernrohr auf einmal übersieht) wird durch den Winkel bestimmt, welchen die von den beiden äußersten Punkten des Objectes kommenden und durch den Mittelpunkt des Objectivs gehenden Hauptstrahlen mit einander bilden. Der Winkel $\alpha o \beta$ oder aob in der früheren Fig. 621 bezeichnet also die Größe des Gesichtsfeldes. Die bloße Betrachtung dieser Figur zeigt auch, daß die Größe, welche dieser Winkel haben kann,

mithin die Größe des Gesichtsfeldes, nur allein von der Größe der Oeffnung des Ocularglases abhängt und mit derselben zunimmt. Denn je kleiner diese Oeffnung ist, desto näher müssen die äußersten, schon am Rande des Oculars eintreffenden Hauptstrahlen (α a und β b) an einander liegen; diese Strahlen müssen daher desto näher an einander gelegenen leuchtenden Punkten angehören, wenn sie und zu ihnen gehörige Nebenstrahlen durch das Ocular dem Auge sollen zugeführt werden können, man wird also nur einen kleineren Raum durch das Fernrohr übersehen, d. h. ein kleineres Gesichtsfeld haben. Es wächst dieses für dieselben Brennweiten des Objectivs und des Oculars im geraden Verhältnisse mit der Oeffnung des letzteren Glases und ist von der Größe der Oeffnung des Objectives ganz unabhängig. Die Vergrößerung des Gesichtsfeldes durch Vergrößerung des Oculars findet jedoch darin eine Grenze, daß bei zu beträchtlicher Oeffnung des letzteren Glases die Einfalls- und Brechungswinkel zu groß werden, und die Strahlen durch Brechung in demselben nicht, wie sie sollten, in Punkten derselben, zum Objecte parallelen Ebene .... (†) zusammenkommen, weswegen das Bild gegen den Rand gekrümmt, verzerrt und undeutlich wird. Es kann daher die Vergrößerung des Gesichtsfeldes nicht weiter getrieben werden, als es die erforderliche Deutlichkeit der Bilder erlaubt.

Fig. 622.



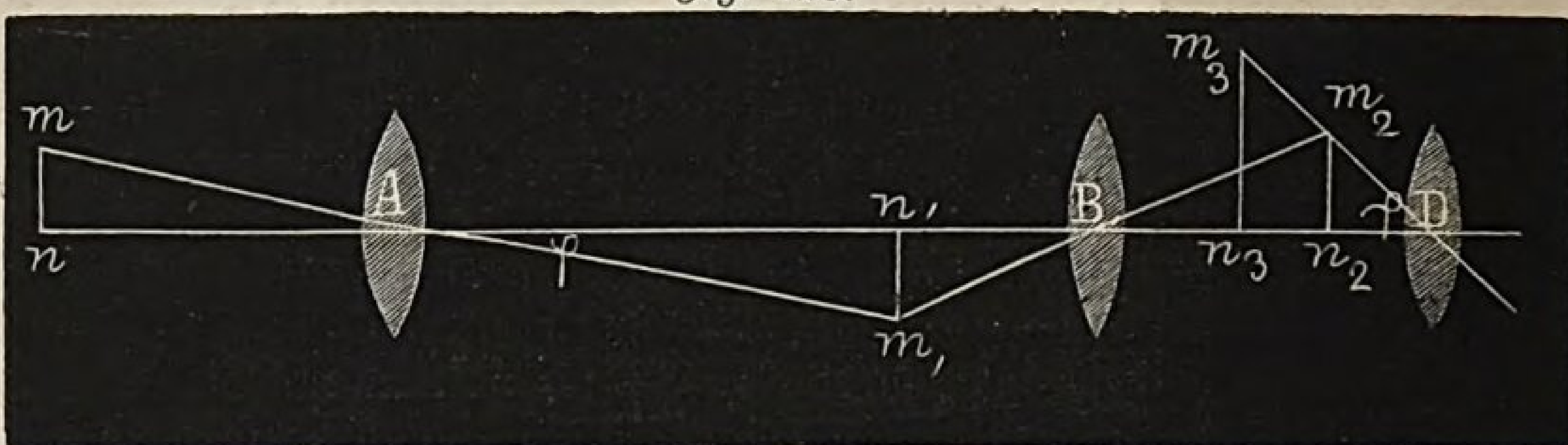
316. Das Erdfernrohr. Da es bei Gegenständen auf der Erde unangenehm und störend ist, wenn sie, wie dies durch das astronomische Fernrohr der Fall ist, verkehrt erscheinen, so ist zu ihrer Betrachtung das terrestrische oder Erdfernrohr bestimmt, welches entfernte Objecte vergrößert und zugleich aufrecht zeigt. Es besteht in vollkommener Einrichtung der Wesenheit nach aus einem achromatischen Objective **O** (Fig. 622) und aus einem vierfachen Oculare, bei welchem die vier Sammellinsen **A, B, C, D**, aus denen es zusammengesetzt ist, Planconvergläser und am gewöhnlichsten (denn es gibt verschiedene Arten ihrer Anordnung) folgendermaßen angeordnet sind. Das vom Objective **O** erzeugte umgekehrte Bild $a_1\, b_1$ des leuchtenden Gegenstandes fällt vor die Linse **A**. Von diesem Bilde aus gehen die Strahlen auf eine bloß bei Anschauung der Figur klar werdende Weise durch die Linsen **A, B, C** des Oculareinsatzes, werden von der letzten (**C**) dieser Linsen zu einem (im Vergleiche mit dem Gegenstande) aufrechten Bilde $a_2\, b_2$ vereinigt, welches durch das als einfaches Mikroskop wirkende eigentliche Ocularglas **D** betrachtet wird, so daß das Auge von dem leuchtenden Gegenstande ein vergrößertes und aufrechtes Bild sieht. Das Auge muß sich zu diesem Ende natürlich hinter der Linse **D** an dem Orte (**E**) befinden, wo es durch diese Linse von allen Punkten des Bildes $a_2\, b_2$ herkommende Strahlen empfängt. Bei dem vierfachen Oculare ist, wenn es die gehörige Einrichtung hat, nicht nur durch entsprechende Vertheilung der Brechung auf mehrere Linsen (**309**) die sphärische Abweichung, sondern nach den im Früheren,

insbesondere in **308** erörterten Prinzipien auch die Farbenzerstreuung aufgehoben. Da die vier Linsen, (wovon die zwei ersten **A**, **B** dem Objecte, die zwei andern **C**, **D** hingegen dem Auge ihre Planflächen zukehren) eine bestimmte gegenseitige Stellung haben müssen, so sind sie in einer eigenen Röhre gegen einander unverrückbar eingesetzt, welche, zu dem nämlichen Zwecke wie die Ocularröhre des astronomischen Fernrohrs, in der das Objectiv enthaltenden Hauptröhre aus und ein verschiebbar ist. Bei kleineren Instrumenten (den sogenannten Perspektiven) besteht auch die Hauptröhre aus mehreren in einander verschiebbaren Zugröhren, damit durch Zusammenschieben derselben das Instrument kurz und zum Tragen (selbst in der Tasche) bequem gemacht werden könne. Bei größeren (längeren) Instrumenten ist aber diese Einrichtung des Hauptrohrs nicht anwendbar, weil da die Zugröhren nach dem Herausziehen nie ein völlig gerades Rohr bilden und daher eine Hauptbedingung nicht erfüllt werden würde, die Bedingung nämlich, daß die Axen aller Linsen in eine und dieselbe Gerade zusammenfallen.

An das Objectiv werden bei dem Erdfernrohre ganz dieselben Anforderungen gestellt, wie bei dem astronomischen Fernrohre; es gilt daher auch hier Alles, was über die nothwendigen Eigenschaften dieses Glases bei letzterem Instrumente gesagt wurde. Die Bestimmung der Vergrößerung des Erdfernrohrs geschieht durch Versuche in der nämlichen Weise wie beim astronomischen Fernrohre. Durch Rechnung erhält man die Vergrößerung $= \frac{f}{f_1} \cdot \frac{f_2}{b - f_2}$. . . . (†), vorausgesetzt, das Ocular bestünde nur aus zwei Linsen, etwa **B** und **D** (so daß nur erstere zur Umkehrung des Bildes $a_1 b_1$ und letztere als Mikroskop für das durch diese Umkehrung entstandene aufrechte Bild $a_2 b_2$ diente) und f bedeute die Brennweite des Objectivs, f_1 jene des letzten Oculars **D**, f_2 die Brennweite des Glases **B** und b die Entfernung des Bildes $a_1 b_1$ von diesem Glase *). Bei einer solchen Anordnung, daß

*) Um obige Gleichung (†) zu beweisen, seien in Fig. **623** A das Objectiv, B, D die besagten zwei Ocularglåser, $m_1 n_1$ das von dem Gegenstande m n durch A erzeugte

Fig. **623**.

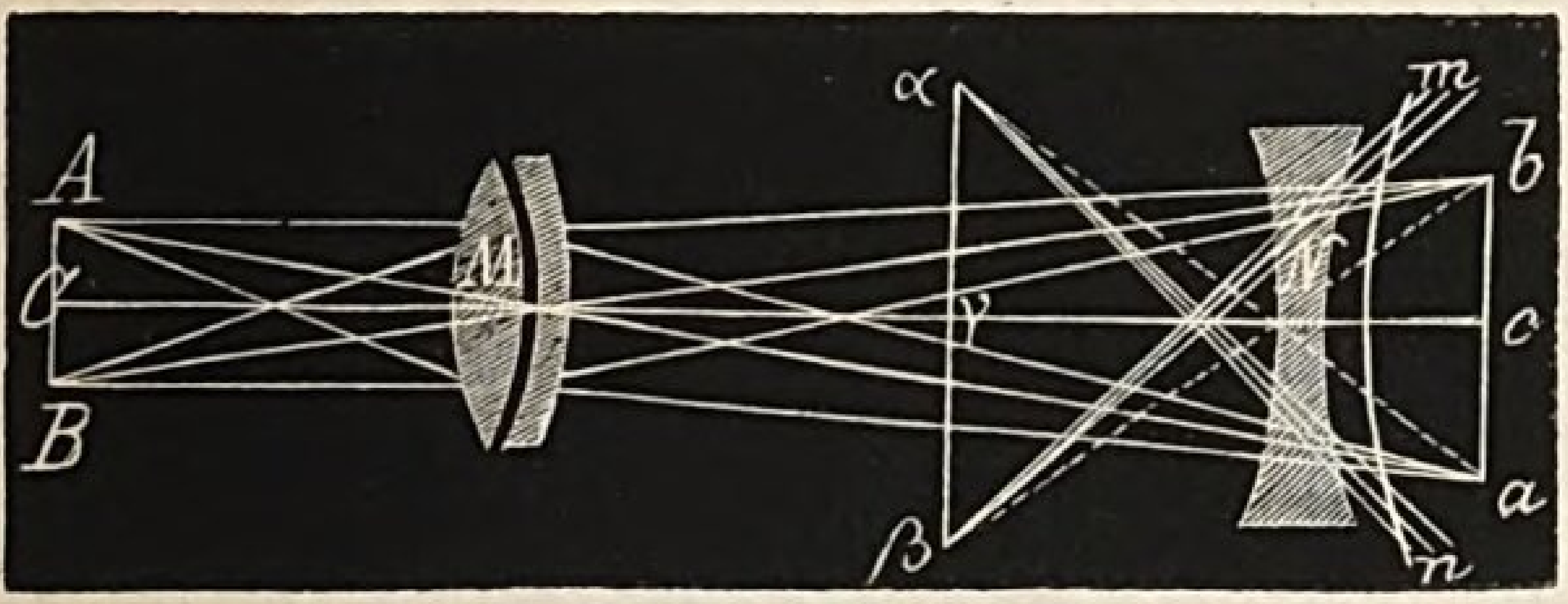


und $m_2 n_2$ das umgekehrte Bild, welches durch die Linse B zu Stande kommt und durch D angesehen wird. Unter Hinblick auf die S. **691** gemachten und auch hier geltenden Annahmen leuchtet offenbar Folgendes ein. Es ist die Vergrößerung $\nu = \frac{\psi}{\varphi}$ (d. h. gleich dem Winkel $m_2 D n_2$, unter welchem der Gegenstand durch das Fernrohr erscheint), dividirt durch den Sehwinkel $m_1 A n_1 = m A n$ mit freiem Auge. Nun ist, wenn f die Brennweite des Objectivs (A) bedeutet, $\varphi = \frac{m_1 n_1}{n_1 A} = \frac{m_1 n_1}{f}$ und $\psi = \frac{m_2 n_2}{n_2 D}$; folglich $\nu = \frac{m_2 n_2}{m_1 n_1} \cdot \frac{f}{n_2 D}$ oder wegen $\frac{m_2 n_2}{m_1 n_1} = \frac{n_2 B}{n_1 B}$, $\nu = \frac{n_2 B}{n_1 B} \cdot \frac{f}{n_2 D}$. Es ist aber nach (**158**) Seite 654 $\frac{1}{n_2 B} = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{n_1 B}$, wenn f_2 die Brennweite von B bedeutet, mithin $n_2 B = \frac{f_2 \cdot n_1 B}{n_1 B - f_2}$ oder $\frac{n_2 B}{n_1 B} - \frac{f_2}{n_1 B - f_2}$ und daher $\nu = \frac{f_2}{b - f_2} \cdot \frac{f}{f_1}$ d i. der oben unter (†) aufgestellte Ausdruck, wenn man statt $n_2 D$ die Brennweite f_1 der Linse D und $n_1 B = b$ setzt.

$b = 2 f_2$ ist, wäre die Vergrößerung $= \frac{f}{f_1}$ d. h. gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglases **D** in jene des Objectivs, wie beim astronomischen Fernrohre mit einfachem Oculare. Nicht selten finden sich beim Erdfernrohre zwei Oculareinsätze, wovon der eine, stärker vergrößernde für recht intensiv beleuchtete, (etwa von der Sonne beschienene) irdische Gegenstände, die unbeschadet der nöthigen Helligkeit eine stärkere Vergrößerung vertragen, der andere für gewöhnliche schwächere Beleuchtungen bestimmt ist. Uebrigens gilt, was die Helligkeit und eben so, was das Gesichtsfeld anbelangt, für das Erdfernrohr Alles, was über diese Eigenschaften schon beim astronomischen Fernrohr gesagt wurde.

317. Das holländische oder Galiläische Fernrohr hat bei einer Sammellinse als Objectiv eine Zerstreuungslinse als Ocular. Die Anordnung beider Gläser (Fig. 624) ist eine solche, daß die von einem Gegenstande **ABC** kommenden Strahlen, bevor sie hinter dem Objective **M** sich zu einem verkehrten Bilde **abc** vereinigen können, mit dem Ocularglase **N** aufgefangen und durch dieses so ins Auge geleitet werden, als kämen sie von einem aufrechten und vergrößerten Bilde $\alpha \beta \gamma$ vor der Zerstreuungslinse her.

Fig. 624.



Es fallen nämlich die einem und demselben leuchtenden Punkte angehörigen Strahlen nach ihrem Austritte aus dem Objective convergent auf das Ocular und werden durch dieses, wenn **Nc** größer ist als dessen Brennweite, divergent gemacht [siehe (4) auf S. 658], so daß sie von einem vor der Ocularlinse und zwischen ihr und dem Objective gelegenen Punkte auszugehen scheinen. Dieses Fernrohr wird nur als Taschen- und Theaterperspektiv verwendet, wozu es sich deswegen gut eignet, weil es bei geringer Länge doch ein aufrechtes Bild gibt und bei schwacher Vergrößerung auch ein weites Gesichtsfeld gestattet.

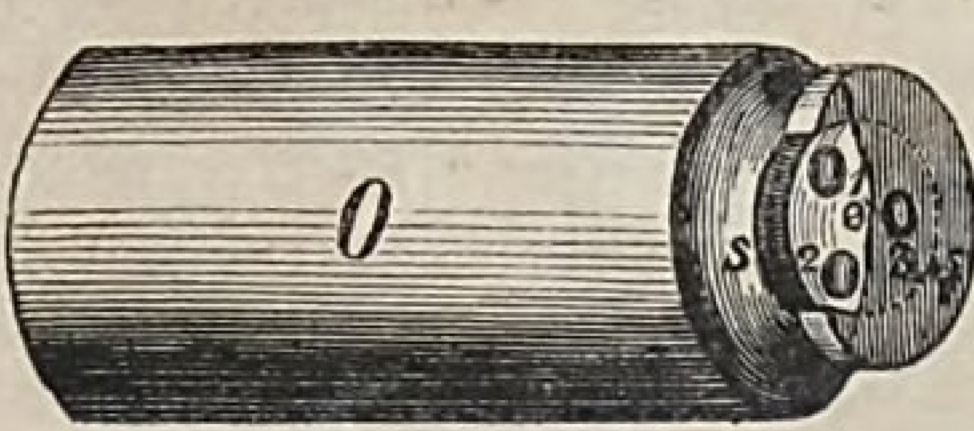
Die Deutlichkeit und Reinheit der Bilder fordert als unerläßlich ein achromatisches Objectiv, welches ganz nach den früher aufgestellten Prinzipien construirt wird, nur macht man die zweite Fläche des Flintglases plan, was dem Objectiv eine größere Oeffnung zu geben gestattet. Das Ocular wird gewöhnlich nicht achromatisirt, sondern bleibt einfach, weil bei demselben die nachtheilige Wirkung der chromatischen Abweichung ohnehin nur sehr gering ist, und zwar der schwachen Beleuchtung der Gegenstände, die durch das Instrument gewöhnlich betrachtet werden, und des Umstandes wegen, daß dasselbe aus diesem Grunde sowohl als rücksichtlich des Gesichtsfeldes, (welches bei wachsender Vergrößerung bedeutend abnimmt) keine starken Vergrößerungen verträgt, und das Auge (wieder behufs Erzielung eines größeren Gesichtsfeldes) ganz nahe ans Ocular gebracht werden muß, wo die zerstreuten Strahlen noch wenig divergiren. Auch der aus der sphärischen Abweichung des Oculars entspringende Fehler ist bei gehöriger Gestalt desselben unmerklich. Man macht das Ocular zu diesem Ende am gewöhnlichsten plan-concav und kehrt die plane Seite dem Auge zu. Man kann das Ocular aber auch achromatisiren und dies geschieht dann ganz nach denselben Regeln wie bei Objectiven, nur mit dem Unterschiede, daß die Halbmesser beider Gläser der zu construirenden achromatischen Doppellinse im entgegengesetzten Sinne genommen werden, so daß die Linse aus Crownglas concav und jene aus Flintglas convex wird, mithin der Brechungsüberschuß auf Seite der concaven Linse bleibt. Allein achroma-

tische Oculare können immer nur eine viel kleinere Oeffnung erhalten und darunter leidet die Größe des Gesichtsfeldes. *Voigtländer* junior verfertigt nach *Petzval's* Berechnung ausgezeichnete Theaterperspective mit achromatischen Ocularen.

Die *Vergrößerung* eines holländischen Fernrohrs, d. i. der Quotient, den man erhält, wenn der Winkel $\alpha N \beta$, unter welchem der Gegenstand (**AB**) mit dem Fernrohr erscheint, durch den Sehwinkel mit freiem Auge, nämlich durch **AMB** dividirt wird, läßt sich in derselben Weise wie beim astronomischen Fernrohre als gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Oculars in die Brennweite des Objectivs erweisen. Bei Führung dieses Beweises ist nur der Umstand nicht zu übersehen, daß die zu einem Punkte gehörigen Strahlen convergent auf das Ocular treffen, mithin in der Formel (160) für diese Linse (S. 657) die Entfernung **a** negativ zu nehmen sei. Wie schon erwähnt wurde, sind bei dem in Rede stehenden Instrumente und zwar aus Rücksicht für das Gesichtsfeld und wegen der schwachen Beleuchtung der damit zu betrachtenden Gegenstände immer nur schwache Vergrößerungen möglich. Solche Vergrößerungen in verschiedenem Grade werden durch verschieden starke Oculare erhalten. *Plößl* bringt an seinen sogenannten *Feldstechern*, d. s. Galiläische Fernröhre, die wegen äußerst vollkommener Construktion in allen ihren Theilen ganz Vorzügliches leisten, 3 bis 4 verschiedene Oculare, welche eine Vergrößerung von 4, 8, 13 und 20mal dem Durchmesser nach gestatten, excentrisch in einer Scheibe an, die am Ende der in der Objectivröhre verschiebbaren Ocularröhre drehbar so befestigt ist, daß man durch entsprechendes Drehen (dieser Scheibe) schnell ein Ocular nach dem andern an den gehörigen Platz (in die optische Axe des Instrumentes) bringen und so eine Vergrößerung mit der andern vertauschen kann.

Die Figur **625** macht diese Einrichtung anschaulich. O ist das Ocularrohr, s, s_1 die kreisrunde um ihr Centrum drehbare ränderirte (am Umfange gekerbte) Scheibe, und **1**, 2, 3 sind drei in derselben festgemachte Oculare verschiedener Stärke. Daß die vorerwähnte Verschiebbarkeit der Ocularröhre den Zweck hat, das Instrumen den verschiedenen Entfernungen der zu betrachtenden Objecte, ferner den verschiedenen Sehweiten der Augen und endlich den schwächeren und stärkeren Vergrößerungen anzupassen, bedarf wohl keiner Erwähnung. Unter sonst gleichen Umständen müssen Kurzsichtige das Ocular weiter hineinschieben (denn man muß, nach der Formel unter 3). auf S. **657**, a größer machen, d. h. mit Bezug auf die Fig. **624** die Zerstreuungslinse N von dem durch die Objectivlinse erzeugten Bilde abc wegrücken, damit die Bildweite α, wie es die Kurzsichtigkeit fordert, kleiner werde) und dasselbe muß für das nämliche Auge bei Zunahme der Entfernung des leuchtenden Gegenstandes geschehen (denn in diesem Falle rückt das Bild abc näher an das Objectiv M und mithin auch an das Ocular N; dieses muß daher von abc entfernt, also dem Objective M genähert werden, um den vorigen Abstand zwischen N und abc und dadurch die der Sehweite des Auges entsprechende Weite des Bildes $\alpha\beta\gamma$ wieder herzustellen. Da endlich die stärkere Vergrößerung durch ein Ocular von kürzerer Brennweite erzielt wird, aber nach Formel unter (3) auf S. **657** auch a abnehmen muß, wenn p abnimmt, damit die Größe der Bildweite unverändert bleibt; so folgt, daß für das nämliche Auge das Oculare desto weiter herauszuziehen, und so dem Bilde abc desto mehr zu nähern sei, je stärker vergrößernd das Ocular wirkt.

Fig. **625**.

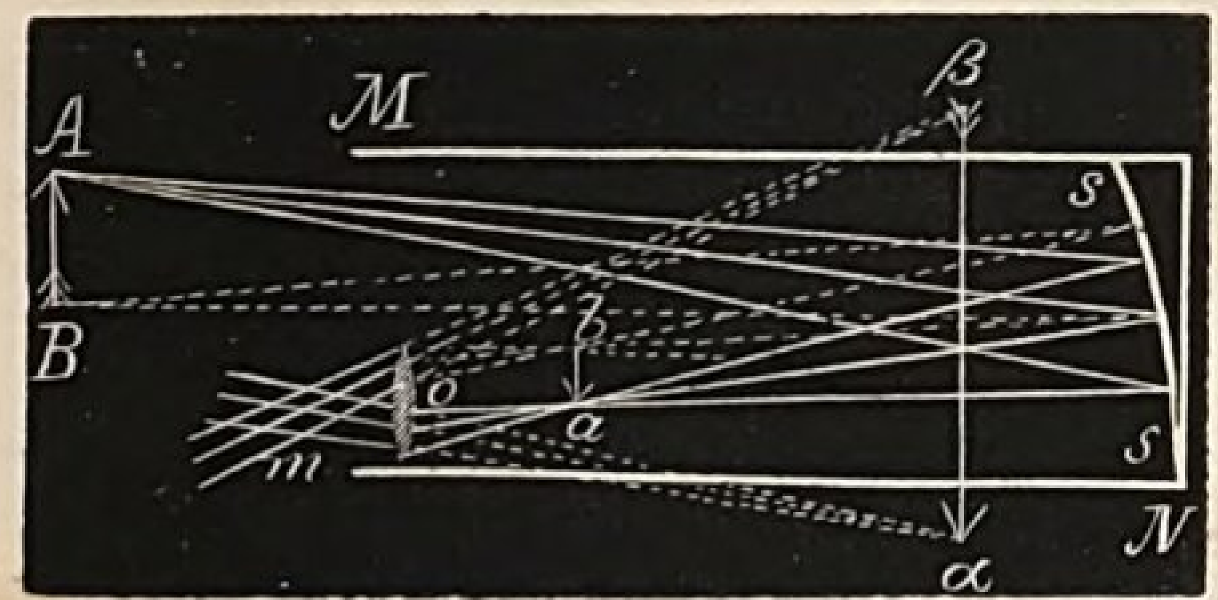


Die *Helligkeit* des Galiläischen Fernrohres wächst wie bei den zwei andern bereits abgehandelten Fernröhren und aus dem nämlichen dort angegebenen Grunde mit der Oeffnung des Objectivs (und zwar im quadratischen Verhältnisse des Durchmessers desselben), vorausgesetzt, daß vermöge hinreichend großer Oeffnung des Oculars durch dieses Glas auch die äußersten Strahlen des von jedem Punkte des Gegenstandes das Objectiv passirenden Strahlenkegels hindurchgehen können. Das *Gesichtsfeld*, welches bei dem in Rede stehenden Instrumente wegen der Divergenz der Axen der aus dem Oculare austretenden Strahlenbüschel immer nur

verhältnißmäßig klein ist, hängt von der Größe des Oculars, aber auch von der Oeffnung des Objectivs ab. Stellt m n in der früheren Figur 624 die Augenöffnung (die Oeffnung der Pupille) vor, so ist die nützliche (die Größe des Gesichtsfeldes bestimmende) Oeffnung des Oculars der Augenöffnung gleich, indem Strahlen, welche außerhalb m n aus dem Oculare hervortreten, nicht mehr in das Auge gelangen können (wenn dieses unverrückt stehen bleibt). Das Auge muß daher auch dem Oculare ganz nahe gebracht werden, wenn von den äußeren Strahlen möglichst wenige verloren gehen sollen und man ein möglichst großes Gesichtsfeld haben will. Daß dieses aber auch von der Größe des Objectivs abhängt, erhellet, wenn man mit Hinblick auf die Figur 624 bedenkt, daß von den Strahlen, welche am Rande auch eines großen Objectivs auffallen, immer noch ein Theil in das Auge gelangen und man also ein großes Feld übersehen kann, wenn das Ocular groß genug ist und man das Auge über der Fläche desselben hinbewegt. Doch wird der Größe des Oculars und somit auch des Objectivs dadurch eine Grenze gesetzt, daß, um Verzerrungen des Bildes am Rande zu vermeiden, die Oeffnung des Oculars nie mehr als die Hälfte oder höchstens $^6/_{10}$ seiner Brennweite betragen darf.

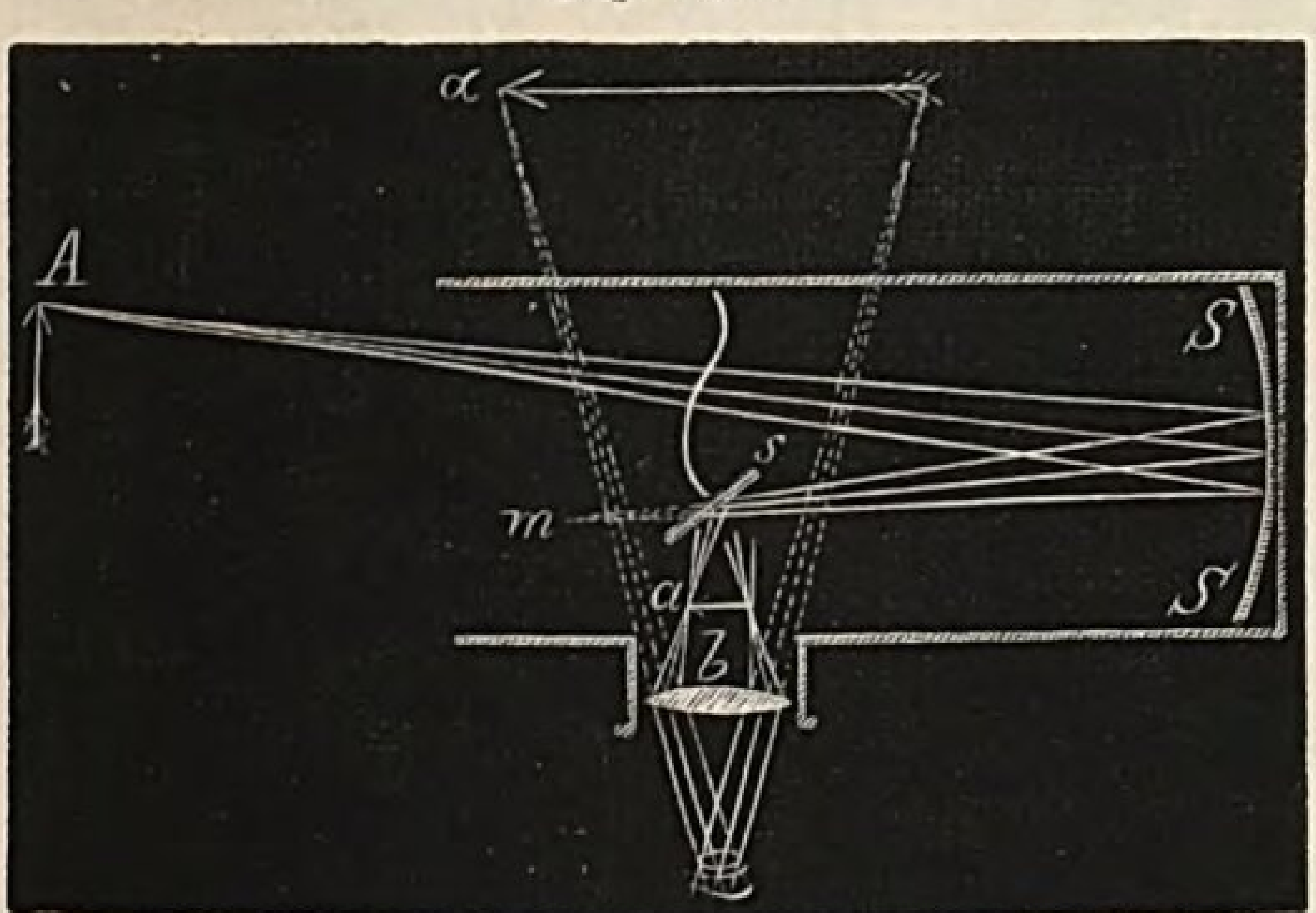
Katoptrische Fernröhre. 1. Das einfachste dieser Instrumente ist das Herschel'sche, welches (Fig. 626) aus einem metallenen Hohlspiegel s s besteht, der sich am Ende einer Röhre MN befindet, gegen die Axe derselben etwas geneigt ist, und die von einem entfernten Gegenstande A B auf ihn auffallenden Strahlen in der Nähe der untern Röhrenwand zu einem verkehrten Bilde a b vereinigt, welches dann durch ein daselbst befindliches und in gewöhnlicher Weise construirtes Ocular o betrachtet wird, so daß das Auge (bei m) ein vergrößertes Bild $\alpha\beta$ des Gegenstandes sieht. Da der Kopf des Beobachters offenbar einen Theil der vom Gegenstande kommenden Strahlen abhält, so muß der Spiegel groß sein, damit dieser Lichtverlust im Verhältniß zu der den Spiegel treffenden Strahlenmenge nur sehr wenig beträgt. Herschel verfertigte ein solches Teleskop, bei welchem der Spiegel 49 Zoll Durchmesser und 40 Fuß Brennweite hatte und welches eine 6400malige Vergrößerung gab.

Fig. 626.



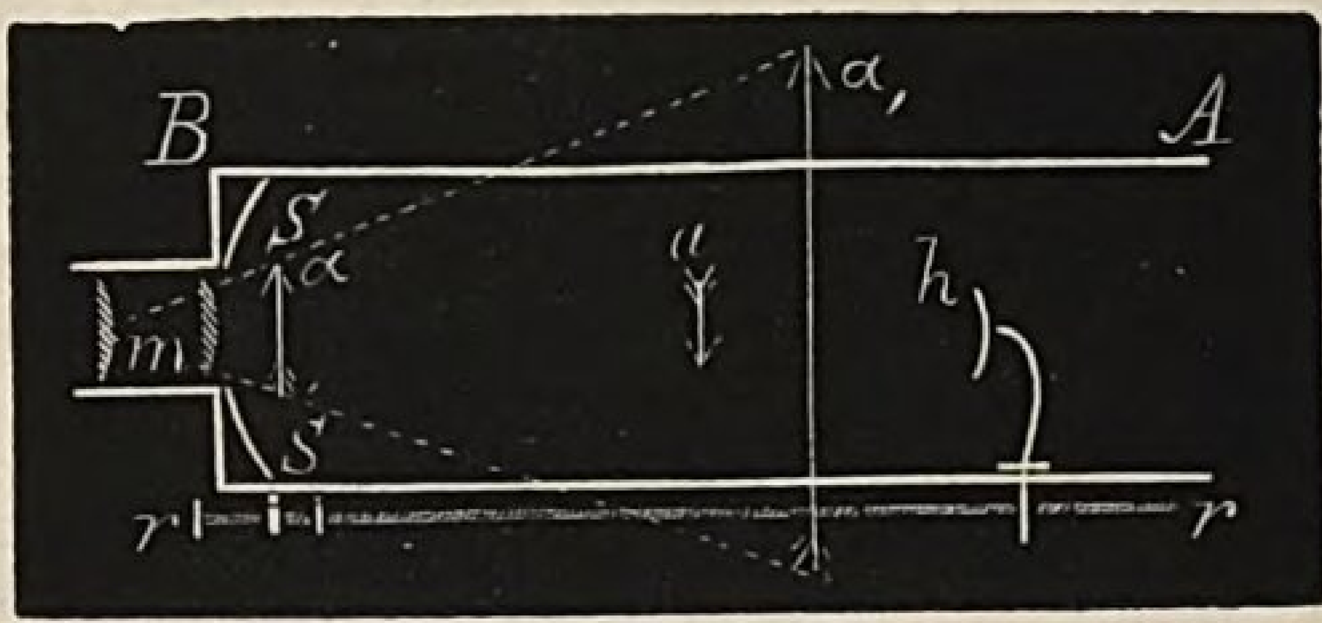
2. Nach Herschel's Instrument ist das einfachste katoptrische Fernrohr das Newton'sche (Fig. 627). Bei demselben fällt die Axe des Hohlspiegels SS mit jener des Rohres zusammen und es ist im letzteren und zwar nahe am Brennpunkte des ersteren ein kleiner, um 45° gegen die Axe geneigter Planspiegel s angebracht, der die vom Spiegel SS zurückgeworfenen Strahlen, bevor sie sich zu einem Bilde (bei m) vereinigen, auffängt und ohne ihre Convergenz zu ändern, nach der Seite des Rohres hin reflektirt, so daß vor dem Planspiegel ein Bild a entsteht, welches innerhalb die Brennweite eines in der Röhrenwand vorhandenen Oculars b fällt und dem Auge o vergrößert und in der Sehweite bei α erscheint. Bei dieser Einrichtung fällt zwar der Lichtverlust durch den Kopf des Beobachters weg; allein es geht wieder durch die doppelte Reflexion (an den beiden Spiegeln) Licht verloren, und überdies erschwert die Stellung des Beobachters zur Seite des Instrumentes das Aufsuchen der zu beobachtenden Gegenstände; auch ist der Umstand störend, daß man diese Gegenstände nicht in ihrer natürlichen Lage, sondern unter rechtem Winkel gegen dieselbe sieht. Von diesen Uebelständen frei ist

Fig. 627.



3. Das Gregory'sche Teleskop (Fig. 628). Bei demselben ist statt des Planspiegels s ein kleiner Hohlspiegel h angewendet. Die vom großen Spiegel SS reflektirten Strahlen vereinigen sich zu einem verkehrten Bilde a, welches zwischen den Krümmungsmittelpunkt

Fig. 628.

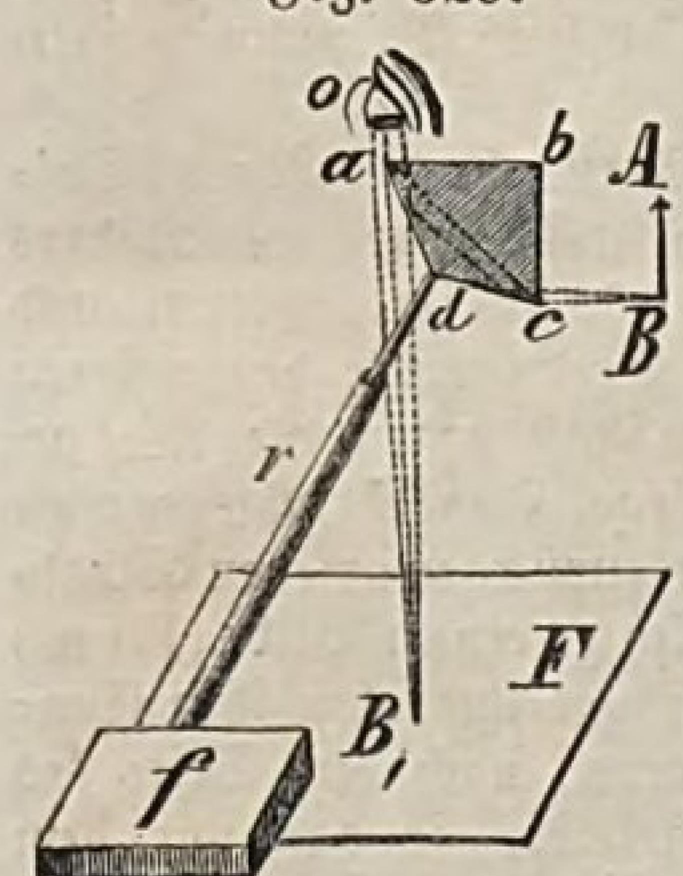


und den Brennpunkt des Spiegels h fällt, so daß zu Folge Reflexion von S ein zu a verkehrtes, mithin zum Gegenstande aufrechtes Bild α entsteht, welches innerhalb die Brennweite eines (gewöhnlich durch eine Collektivlinse achromatisirten) Oculars m fällt, das in einer Oeffnung in der Mitte des großen Hohlspiegels S S eingesetzt ist. Das Auge sieht daher ein aufrechtes und vergrößertes Bild α_1 des vor der Oeffnung A des Rohres A B befindlichen leuchtenden Gegenstandes. Um dieses Bild bei verschiedenen Entfernungen des Gegenstandes immer in die Sehweite bringen zu können, läßt sich der kleine Spiegel h mittelst einer Schraube r r dem großen nähern und von demselben entfernen. Bei diesem Instrumente findet der Uebelstand statt, daß die bedeutende sphärische Abweichung, welche durch die zwei Hohlspiegel erzeugt wird, die Deutlichkeit der Bilder sehr beeinträchtigt. Um diesen Uebelstand zu beseitigen, modifizirte Cassegrain die Gregory'sche Einrichtung dahin, daß er dem kleinen Hohlspiegel einen kleinen Convexspiegel substituirte, indem dadurch die vom großen Hohlspiegel herkommende sphärische Abweichung ausgeglichen werden sollte. Schließlich muß noch erwähnt werden, daß in neuerer Zeit von Lord Roß in Irland und von Lassell nächst Liverpool große Teleskope (katoptrische Fernröhre) konstruirt und damit sehr interessante Entdeckungen und Beobachtungen am Himmel gemacht worden sind.

318. Einige andere optische Instrumente. 1. Der optische Kasten, bei welchem mittelst einer Sammellinse große perspectivische Zeichnungen betrachtet werden, die sich etwas innerhalb der 1—2 Fuß betragenden Brennweite der Linse befinden. (Diorama.)

2. Wollaston's **Camera lucida**, dazu bestimmt, von Gebäuden, Parthien einer Landschaft oder andern wohlbeleuchteten Gegenständen reine Bilder auf horizontaler Fläche erscheinen zu machen, um sie daselbst nachzuzeichnen. Es besteht, wie Fig. 629 zeigt, aus einem kleinen, vierseitigen Glasprisma a b c d,

Fig. 629.

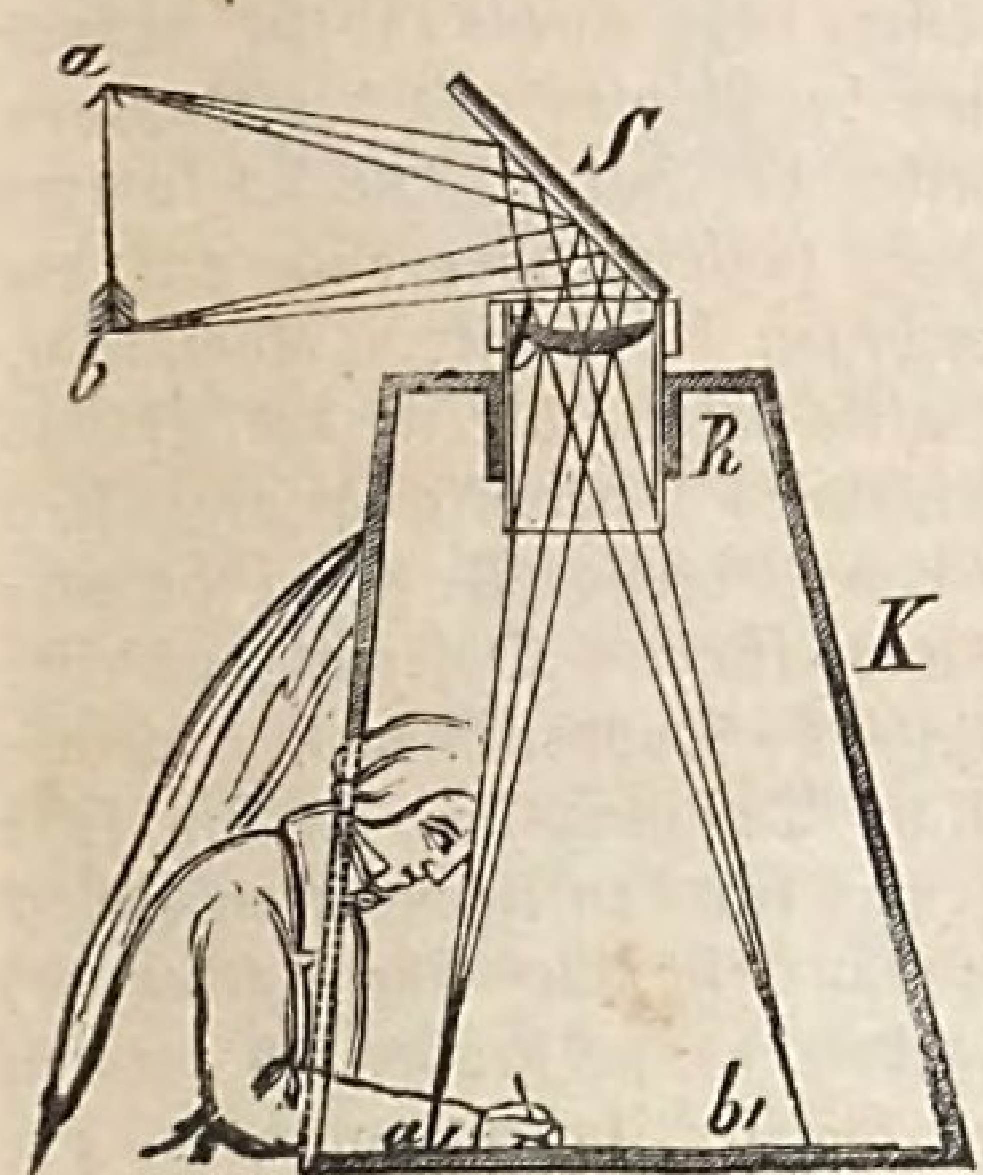


bei welchem a b = b c, a d = d c, der Winkel bei b = 90° und der Winkel bei d = 135° ist. Es hat eine hinreichende Größe, wenn seine Breite a b ½ Zoll und seine Länge 1 Zoll beträgt. Es wird in metallener Fassung von einer zum Auseinanderziehen und Zusammenschieben eingerichteten Röhre r mit schwerem breiten Fuße f getragen. Die Flächen a d, a b und b c sind von der Fassung frei belassen. Die Fläche a b ist aber mit einem geschwärzten Metallplättchen bedeckt, welches an dem über die Prismakante a zu liegen kommenden Rande und zwar in der Mitte eine kleine Oeffnung der Art angebracht enthält, daß ein darüber gehaltenes Auge gleichzeitig an der Prismakante a vorbei und in das Prisma (nahe an dieser Kante a) hineinsehen kann. Kehrt man nun die ebene Fläche b c dem abzuzeichnenden Gegenstande **AB** zu, so geht das von jedem Punkte z. B. **B** desselben senkrecht auf b c und nahe an der Kante c auffallende Strahlenbündel durch b c ungebrochen durch, erleidet zuerst an der Fläche d c, hernach an der Fläche d a eine totale Reflexion, trifft dann senkrecht die Fläche a b nahe an der Kante a, und gelangt daher durch diese Fläche ungebrochen ins Auge, so daß dieses auf einer unter dem Prisma entsprechend angebrachten weißen Fläche **F** ein horizontales Bild $\mathbf{B_1}$ sieht. Hält man das Auge gehörig über der früher erwähnten Oeffnung des Metallplättchens, womit die obere Prismafläche (a b) bedeckt ist, so kann es mit der einen Hälfte der Pupille die aus dem Prisma kommenden Strahlen, mit der andern, über die Kante a hervorragenden Pupillenhälfte aber gleichzeitig Strahlen empfangen, welche un=

mittelbar von der Stelle der weißen Fläche **F** herkommen, wo das Bild von **AB** erscheint. Bringt man daher die Spitze eines Bleistiftes an dieses Bild, so sieht man sie zugleich mit demselben und kann letzteres nachzeichnen. Durch Verlängern oder Verkürzen der Zugröhre r (Entfernen oder Annähern des Prismas gegen die Fläche **F**) und verschiedene Neigung dieser Röhre vermittelst eines Scharniers an ihrem untern Ende, läßt sich der Apparat leicht den verschiedenen Entfernungen und Lagen der nachzuzeichnenden Gegenstände anpassen.

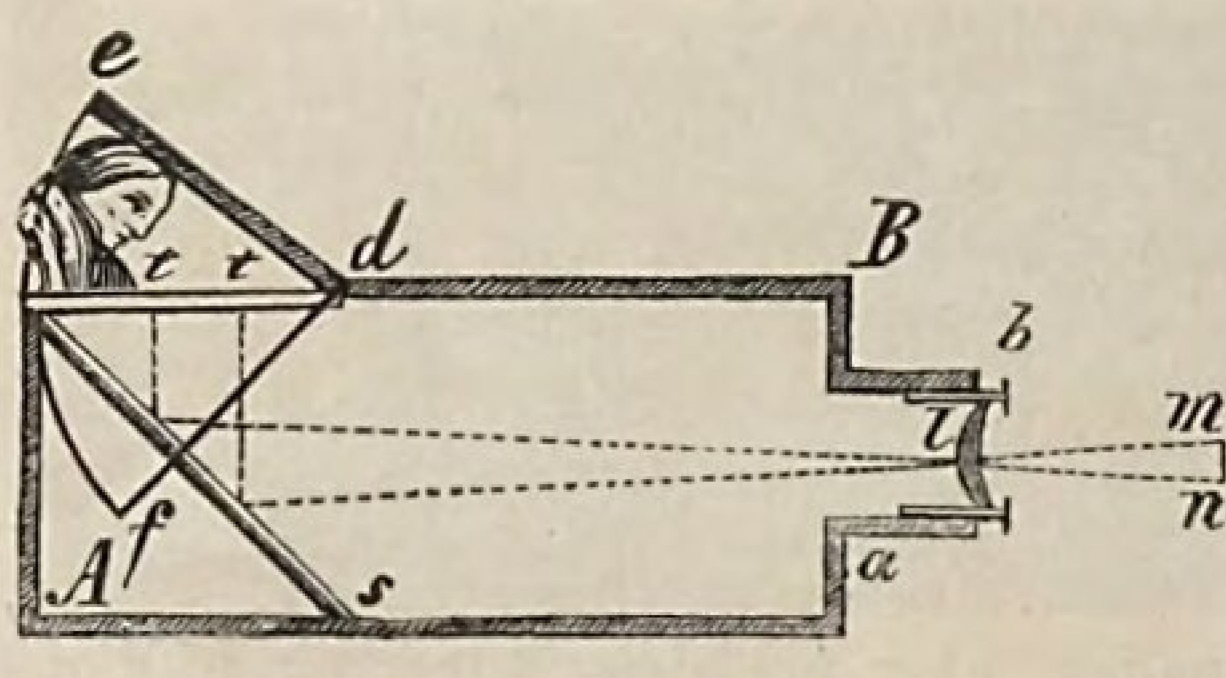
3. Die dunkle Kammer (**Camera obscura**) hat die Bestimmung, Bilder von entfernten Gegenständen auf einer Tafel darzustellen, entweder bloß, um uns den Anblick dieser Bilder zu verschaffen, oder um diese Bilder durch Nachzeichnen oder durch einen eigenen, den sogenannten photographischen Prozeß (von welchem erst später die Rede sein wird) zu fixiren. Den wesentlichen Theil jeder **Camera obscura** macht eine Sammellinse von größerer Brennweite aus; die übrige Einrichtung war bisher eine der folgenden ähnliche. In Figur 630 ist **K** ein Kasten; in der durch dessen Decke gehenden Röhre **R** ist die Sammellinse l eingesetzt und über derselben befindet sich ein geneigter Planspiegel **S**. Dieser fängt von dem zu betrachtenden Gegenstande (z. B. **a b**) Strahlen auf, reflektirt sie auf die Linse und diese vereinigt sie zu einem Bilde, welches auf dem Boden des Kastens (auf dort ausgespanntem Papier) erscheint und daselbst leicht nachgezeichnet werden kann. Ist dafür gesorgt, daß, außer durch die Linse, in den Kasten kein Licht gelangen kann, so wird der Eindruck des besagten Bildes auf das Auge durch kein fremdartiges Licht gestört, es erscheint lebhaft rein und scharf begrenzt, insbesondere, wenn die Linse die zur Erzeugung reiner, deutlicher und heller Bilder nöthigen, bereits früher erörterten, Eigenschaften besitzt, (für einfache Linsen — und nur solche werden gewöhnlich angewendet — ist nach Wollaston die beste Form jene eines gegen das Bild hin convexen und auf der andern Seite concaven Meniscus, wie ihn die Figur zeigt) und der Planspiegel aus Metall besteht, so daß keine, der Deutlichkeit nachtheilige mehrfache Reflexion wie bei Glasspiegeln (S. 608) stattfindet. Um auf bequeme Weise von in verschiedener Höhe gegen den Kasten und nach verschiedenen Weltgegenden hin befindlichen Gegenständen Bilder zu bekommen, ist die Einrichtung getroffen, daß sich, vom Innern des Kastens aus, der Spiegel unter beliebigen Winkeln neigen und um die vertikale Axe der Röhre **R** herumdrehen, also nach allen Seiten wenden läßt. Um von Gegenständen verschiedener Entfernung gleich deutliche Bilder erhalten zu können, ist die Röhre **R** eine Auszugröhre, so daß man die Linse dem Orte, wo das Bild entstehen soll, nähern und davon entfernen kann. Oft gibt man dem Kasten die Größe einer Hütte, die auf einem Punkte, der eine schöne Rund- oder Fernsicht gewährt, aufgestellt wird und wo dann die Bilder auf der weißen Platte eines in der Mitte der Hütte befindlichen (weißen glatten) Tisches erscheinen und von den in der lichtdicht abgesperrten Hütte um den Tisch herum Stehenden betrachtet werden. Die Hütte ist gewöhnlich rund, und der Spiegel und die Linse am Gipfel ihres konischen Daches angebracht.

Fig. 630.



Eine andere Form der **camera obscura** macht Fig. 631 anschaulich. **A B** ist ein kleiner Kasten, **a b** eine Auszugröhre, welche die Linse enthält. Die von einem Objecte **m n** kommenden, durch die Linse gegangenen Strahlen werden, bevor

Fig. 631.



sie sich zu einem Bilde vereinigen, durch einen gegen die Linsenaxe unter 45 geneigten ebenen Spiegel **s** einer mattgeschliffenen Glastafel oder einer transparenten Papierfläche **t** zugeworfen, so daß darauf das Bild erscheint und nachgezeichnet werden kann. Der mit Seitenflügeln **e d f** versehene Deckel **e d** dient, um das von oben und von den Seiten her kommende fremde Licht von dem Orte, wohin das Bild fällt, abzuhalten. Die Auszugröhre **a b** gestattet immer eine solche Stellung der Linse gegen das Object, daß von diesem bei jeder Entfernung ein gleich deutliches Bild auf **t** entsteht. Oft zieht man es vor, insbesondere um die bei der Reflexion der Strahlen von dem Planspiegel **s** stattfindende Schwächung derselben zu vermeiden und lichtstärkere Bilder zu erhalten, diesen Planspiegel wegzulassen, und die Bilder auf einer, am hinteren Ende **A** des Kastens in Nuthen eingesetzten, vertikalen Tafel aus mattgeschliffenem Glase oder einem andern passenden Stoffe aufzufangen, wie dieß namentlich immer bei Anwendung der **Camera obscura** zu den vorerwähnten photographischen Zwecken der Fall ist. Hierbei kommt es nämlich auf möglichst große Lichtstärke der Bilder, zugleich aber auch auf die äußerste Reinheit und Schärfe derselben an, weswegen bei dunkeln Kammern, welche zu den besagten Zwecken bestimmt sind, für diese Eigenschaften des Bildes auch durch entsprechende Beschaffenheit des Objectivglases **l** gehörig gesorgt sein muß. Ausgezeichnet in dieser Beziehung wirkt ein von Professor Petzval berechnetes und von dem Optiker Voigtländer junior ausgeführtes Objectiv, das eine Combination aus zwei achromatischen Crown-Flintglas-Doppellinsen ist, welche Combination bei kurzer Brennweite eine beträchtliche Oeffnung hat, mithin sehr lichtstarke und überdies äußerst scharfe, reine und, was für den eigentlichen Zweck des Instrumentes vorzüglich wichtig ist, vollkommen plane (in einer Ebene gelegene) Bilder gibt. Bei den Porträtirkammern ist die Lichtstärke 14mal größer als an den besten der früher vorzüglich in Gebrauch gewesenen Pariser Instrumenten bei der nämlichen Vergrößerung, und das Gesichtsfeld der Landschaftskammern hat die enorme Größe von 78°.

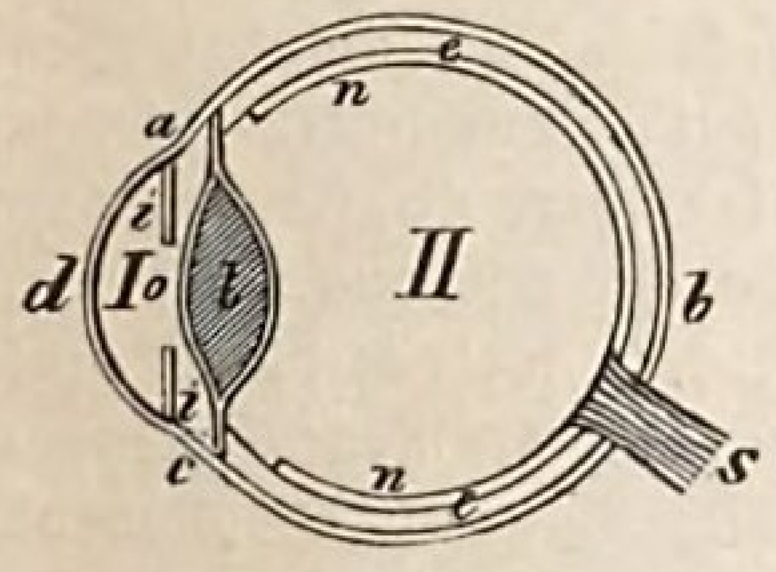
Wir nehmen hier Veranlassung, auf eine Schrift aufmerksam zu machen, welche unter dem Titel „Bericht über die Ergebnisse einiger dioptrischer Untersuchungen," von Professor Jos. Petzval, im Jahre 1843 bei C. A. Hartleben in Pesth erschienen ist und für die praktische Optik, insbesondere in Bezug auf die Construktion einiger optischer Instrumente sehr wichtige, von diesem Gelehrten gewonnene Resultate enthält.

319. Vom Sehorgane. Eine der schönsten Gaben des Schöpfers ist das Auge, d. i. jenes herrlichste der Sinneswerkzeuge, durch dessen Vermittlung zwischen der Außenwelt und dem Nervensysteme die Empfindung des Sehens hervorgerufen wird. Dieses wichtigste aller optischen Instrumente concentrirt nämlich die von den Gegenständen kommenden Lichtstrahlen auf einem aus den Ausläufern besonderer Nerven gebildeten netzartigen Geflechte, der sogenannten Netzhaut, diese Nerven pflanzen den erfahrnen Reiz zum Gehirn fort, und hierdurch entsteht auf weiter nicht erklärbare Weise die Empfindung des Lichtes (der Helligkeit) und des Sehens. Es kann aber auch durch einen von andern Ursachen als von Lichtstrahlen herkommenden Reiz der Netzhaut Lichtempfindung erregt werden, wie das sicherlich durch einen inneren Druck von Seite des Blutes erzeugte Flimmern vor den Augen und die Lichterscheinungen zeigen, die man bei einem äußeren Drucke auf das geschlossene Auge, oder wenn das Auge in den Schließungsbogen einer galvanischen Batterie u. s. w. gebracht wird, bekannter Maßen wahrnimmt.

Den Haupttheil des menschlichen Sehorgans macht der Augapfel aus. Es

ist dies ein aus Häuten und sogenannten Feuchtigkeiten gebildeter, nahe kugelförmiger Körper, der in einer Höhle des Kopfknochens (der Augenhöhle) durch Muskeln nach verschiedenen Richtungen bewegt werden kann und gegen Schaden bei diesen Bewegungen durch Ausfütterung der Höhle mit fettlichen Substanzen, gegen Verletzungen oder zu starke Einwirkungen von außenher und gegen das Eindringen von Staub, Feuchtigkeit oder andern fremdartigen Substanzen aber durch die Augenlider, die Augenwimpern und Augenbrauen verwahrt ist. Von seiner Gestalt bekömmt man eine gute Vorstellung, wenn man sich ihn aus zwei an ihren Grundflächen vereinigten Kugelsegmenten von ungleichen Halbmessern zusammengesetzt denkt. Die äußerste Begrenzung des Augapfels wird an dem größeren Segmente a b c (Fig. 632) durch eine weiße undurchsichtige, dicke und feste Haut, der

Fig. 632.



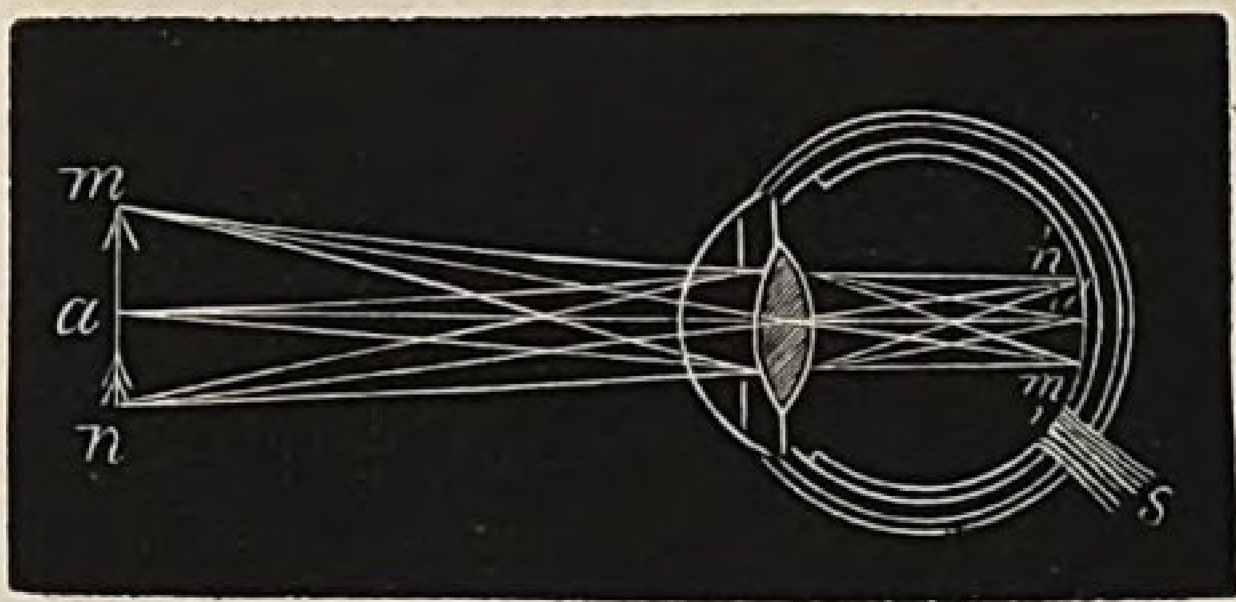
sogenannten harten Haut (tunica sclerotica), und an dem kleineren Segmente a d c von einer vollkommen durchsichtigen Haut gebildet, in welche hier die harte Haut übergeht und welche Hornhaut (tunica cornea) heißt. (Die harte Haut wird auch undurchsichtige Hornhaut genannt.) Innerhalb der harten Haut, und mit ihr concentrisch, verbreitet sich über ihre ganze Fläche eine zweite, braune zarte Haut, die sogenannte Gefäß- oder Aderhaut e (tunica choroidea), die aus durch feines Zellgewebe verbundenen Gefäßen und Nerven besteht und an der inneren Seite mit einer schwarzbraunen, fast schwarzen, schleimigen, leicht abwischbaren Substanz überzogen ist, die dazu dient, zu verhindern, daß das ins Auge eingetretene Licht von dessen Seitenwänden reflektirt und hierdurch Verwirrung beim Sehen bewirkt werde. Nach vorn reicht die Aderhaut bis an den Rand der Hornhaut, geht hier in eine ebene, runde Querhaut i über, die in der Mitte eine Oeffnung o (die Pupille, das Lichtloch) hat, und Regenbogenhaut oder Iris heißt. Dieselbe besteht aus Gefäßen, Nerven und nach dem Mittelpunkte der Pupille gerichteten Muskelfasern, mittelst welchen letztere erweitert oder verkleinert werden kann. Die vordere Seite der Iris ist verschieden gefärbt und bestimmt die Farbe des Auges; ihre hintere Fläche ist zu dem nämlichen Zweck, wie die Aderhaut, mit einem schwarzbraunen Pigmente überzogen. Vor ihrem Uebergange in die Iris verstärkt sich die Aderhaut zu einem meist aus zartem dichtem Zellgewebe bestehenden Ring, Strahlenband genannt, durch welchen sie an der Vereinigungsstelle der Horn- und harten Haut befestigt ist. Endlich breitet sich über dem schwarzbraunen Pigmente auf der inneren Fläche der Aderhaut das schon im Eingange des Absatzes erwähnte Geflechte der Ausläufer eigener Nerven, d. i. die sogenannte Nerven- oder Netzhaut (retina) n n aus, welche eine unmittelbare Fortsetzung und membranartige Ausbreitung eines vom Gehirn kommenden, nahe an der Nase schief in das Auge eintretenden Nervenstranges, des Sehnervs s ist, und bis ans Strahlenband vor sich erstreckt.

Den Raum innerhalb der beschriebenen Häute erfüllen drei sehr durchsichtige Mittel, deren jedes ein anderes, jedoch immer von jenem des Wassers nicht viel verschiedenes Brechungsvermögen besitzt. Unmittelbar hinter der Pupille befindet sich ein sulziger, durchsichtiger Körper l, der vollkommen die Gestalt einer doppelt converen, an der gegen die Pupille gewendeten, vorderen Seite weniger gekrümmten Linse hat und die Krystallfeuchtigkeit oder Krystalllinse heißt. Dieselbe ist aus zarten Schalen und einem dichteren Kern im Innern zusammengesetzt und in einer aus sehr feiner durchsichtiger Haut gebildeten und mit Muskeln versehenen Kapsel eingeschlossen, welche nach den Seiten hin mit der Aderhaut, dem Strahlenbande und der Retina verbunden ist. Nach Krause ist die Krystalllinse an der vordern Fläche elliptisch, an der hintern parabolisch gekrümmt. In der Kam-

mer **I** ist eine wasserähnliche, etwas salzig schmeckende Flüssigkeit, die sogenannte wässerige Feuchtigkeit vorhanden. Die Kapsel mit der Linse bildet nämlich gleichsam eine Wand, welche den inneren Raum des Augapfels in zwei Kammern **I** und **II** scheidet und die Kammer **II** ist mit der sogenannten Glasfeuchtigkeit, d. i. mit einem gallertartigen, sehr durchsichtigen Mittel angefüllt, welches die zähe Consistenz geschmolzenen Glases hat, überhaupt ganz so wie dieses aussieht.

320. Hergang beim Sehen. Es sei a Fig. 633 ein leuchtender Punkt, welcher in der Augenaxe, d. i. in der Verlängerung der durch die Mitte der Hornhaut und der harten Haut gehenden Linie liegt. Offenbar empfängt das Auge von demselben einen Strahlenkegel, wovon der auf die undurchsichtige harte Haut fallende Theil nach allen Seiten zerstreut wird, der die durchsichtige Hornhaut treffende aber in die wässerige Feuchtigkeit eindringt. Da diese zu Folge ihrer Begränzung (vorn durch die Hornhaut und rückwärts durch die Krystalllinse) eine concav-convexe Sammellinse bildet, so werden die Strahlen darin gegen die Axe hingebrochen und gelangen convergirend auf die Regenbogenhaut. Der Theil der Strahlen, welcher um die Pupille herum auffällt, macht die Regenbogenhaut, ihre Farbe, ihr strahliges Gefüge u. s. w. sichtbar, die Strahlen, welche auf die Pupille treffen, gelangen durch diese an die Krystalllinse und werden durch Brechung darin und in der folgenden Glasfeuchtigkeit zu einer solchen Convergenz gebracht, daß sie sich, wenn das Auge im normalen Zustande und die Entfernung des leuchtenden Punktes von demselben 8—10 Zoll groß ist, in der Augenaxe **aa'**, mit welcher die optische Axe der Linse zusammenfällt, gerade auf der Netzhaut zu einem Bilde **a'** vereinigen. Befindet sich ein leuchtender Gegenstand **mn** vor dem Auge, so wird auf ähnliche Weise von jedem Punkte desselben ein Bild auf der Netzhaut zu Stande kommen, so daß auf dieser ein kleines verkehrtes Bild **m' n'** des Gegenstandes entsteht. Die so durch die Concentrirung der Lichtstrahlen auf der Netzhaut bewirkte Affektion des Sehnerven erregt die Empfindung des Sehens. Von dem wirklichen Entstehen eines solchen Bildes kann man sich am leichtesten an einem, dem menschlichen Gesichtsorgane der Wesenheit nach ganz gleich eingerichteten Ochsenauge, das kurz nach dem Tode des Thieres herausgenommen wurde, überzeugen. Denn verdünnt man (mittelst eines Schneide- oder Schabwerkzeuges) den hinter der Netzhaut liegenden Theil der harten Haut, bis er gut durchscheinend wird und kehrt die Hornhaut einem in gehöriger Entfernung befindlichen, stark beleuchteten Gegenstande, z. B. der Flamme einer Kerze, einem Fenster u. s. w. zu; so sieht man von hintenher auf der verdünnten Stelle ein kleines, verkehrtes, sehr scharfes und in jeder Hinsicht treues Bildchen des betreffenden Gegenstandes.

Fig. 633.



Die Entstehung solcher Bilder auf der Netzhaut ist die Hauptbedingung des Sehens. Dafür spricht auch schon der Umstand, daß alle künstlichen Mittel, (z. B. Brillen, wovon später), durch welche diese Bilder schärfer und reiner werden, auch die Deutlichkeit des Sehens erhöhen, hingegen Alles das Sehen undeutlich macht oder ganz aufhebt, was die Entstehung dieser Bilder stört oder unmöglich macht. Verliert z. B. die Krystalllinse theilweise oder ganz ihre Durchsichtigkeit, wie dies beim grauen Staar geschieht, so gelangt das Licht entweder verwirrt oder gar nicht zur Netzhaut; im ersteren Falle müssen die Bilder verzerrt werden und das Sehen wird undeutlich, in letzterem Falle können keine Bilder entstehen und es findet daher Blindheit statt. Diese läßt sich aber durch Herausnehmen oder zur Seite Schieben der undurchsichtigen Linse wieder beheben. Nur erhält dann das Auge, weil es einer Sammellinse beraubt ist, eine viel größere Weite des deutlichen Sehens, (der Gegenstand muß sich in viel größerer Enfernung befinden, damit die Vereinigungspunkte der Strahlen im Auge auf die Netzhaut fallen). Es läßt sich dem jedoch dadurch abhelfen, daß man die natürliche Linse durch eine vor dem Auge angebrachte künstliche Sammellinse von

zweckmäßiger Krümmung (eine sogenannte Staarlinse) ersetzt, wo dann das Sehen wieder fast eben so, wie mit der Krystalllinse statt hat. Eine andere Grundbedingung des Sehens ist eine gehörige Empfindlichkeit der Netzhaut und der Sehnerven. Werden diese gelähmt, so ist damit immer das gänzliche Erblinden verbunden, wenn auch alle anderen Theile des Auges unverändert bleiben. Es gibt übrigens, wie aus mehreren Thatsachen geschlossen werden muß, auch in jedem völlig gesunden Auge eine Stelle, den sogenannten blinden Punkt (punctum coecum), wo die Netzhaut für das Licht ganz unempfindlich ist, nämlich dort, wo der Sehnerv ins Auge eintritt. Die Ursache hievon sucht man in dem Umstande, daß an der besagten Stelle der Nerv noch nicht in so äußerst zarte Fasern zertheilt ist, wie es wahrscheinlich erfordert wird, um durch den feinen Lichteindruck affizirt zu werden.

321. Erforderliche Eigenschaften der auf der Netzhaut entstehenden Bilder. Sollen diese Bilder gehörig wahrgenommen werden, so daß sie eine richtige Vorstellung der betreffenden Objecte erzeugen, so müssen sie 1. deutlich, 2. genügend hell, 3. hinreichend groß sein und 4. lange genug andauern.

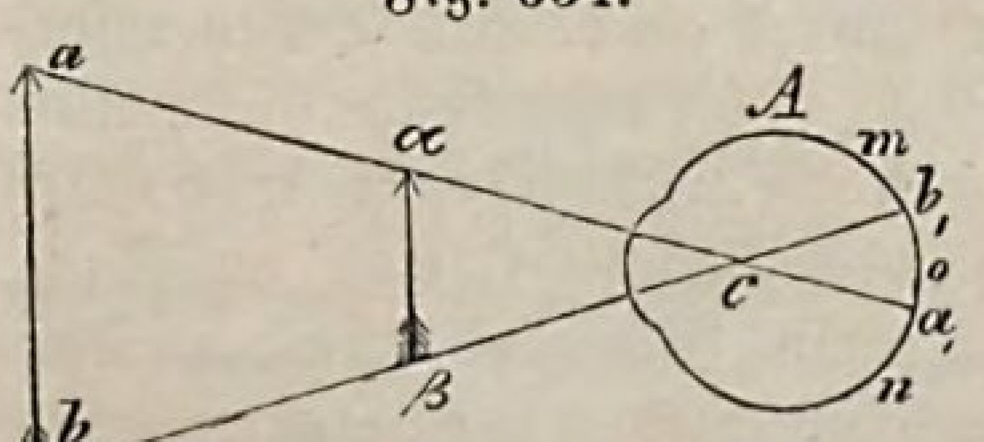
Ad 1. Die Deutlichkeit erfordert, daß alle von einem Punkte außerhalb des Auges in dieses gelangende Strahlen auf der Netzhaut wieder in einem einzigen Punkte vereinigt werden. Dies ist, bei der Brechung in von sphärisch oder anders gekrümmten Flächen begrenzten Mitteln, wie sie auch im Auge erfolgt, Früherem gemäß, nur möglich, wenn keine sphärische und keine chromatische Abweichung statt findet. Für die Behebung der ersteren ist beim Auge gesorgt: a) Durch die als Blendung dienende Iris, indem die Pupille der Krystalllinse nur eine kleine Oeffnung (auf dieselbe nur ihrer Axe nahe gelegene Strahlen gelangen) läßt. b) Durch die ungleichen Krümmungen beider Flächen dieser Linse (nach S. 665). Daß die vordere Fläche elliptisch gestaltet, die Linse mithin in der Mitte flacher ist als an den Rändern, macht insbesondere, daß die schief einfallenden Strahlen die Linse unter kleinen Einfallswinkeln treffen, also die Abweichung derselben nur sehr gering ist. Ferner vereinigen sich wegen Zunahme der Dichte der Linse gegen deren Centrum hin die Centralstrahlen (die um das Centrum herum auffallenden Strahlen) in geringerer Weite hinter der Linse, als dieß sonst geschehen würde, so daß die Vereinigungspunkte der Central- und der mehr gegen den Rand hin durch die Linse gehenden Strahlen einander näher rücken, mithin die Abweichung (namentlich die Größe ef in der früheren Fig. 601) kleiner wird. Endlich c) durch die (ellipsoidische) Wölbung der Netzhaut. Nach Formel (158) S. 654 hat nämlich die Vereinigungsweite (α) der in einer Sammellinse gebrochenen Strahlen einen desto kleineren Werth, je weiter der leuchtende Punkt von der Linse (von ihrem Mittelpunkte) absteht. Nun beträgt aber dieser Abstand (wie die frühere Fig. 633 anschaulich macht) für alle außerhalb der Axe aa′ gelegenen Punkte z. B. m, n eines Gegenstandes mehr, als für den Punkt (a) in der Axe selbst; mithin müssen die correspondirenden Vereinigungspunkte m′ und n′ näher an die Linse fallen, als a′, und man sieht ein, daß für sämmtliche Punkte der geraden Linie m n die Vereinigungspunkte eine nach der Linse hin etwas concave Linie bilden und nur dann alle auf die Netzhaut fallen können, (was bekanntlich zu gehörigem Sehen erforderlich ist), wenn diese selbst eine gleiche Concavität (Wölbung) besitzt. Die Aufhebung der chromatischen Abweichung geschieht durch die verschiedenen brechenden und zerstreuenden Kräfte der durchsichtigen Mittel (der Feuchtigkeiten) im Auge, welche zusammen nach Art einer achromatischen Crown-Flintglas-Linse wirken. Uebrigens ist, wie zuerst Fraunhofer und neuestens wieder Dove gezeigt hat, diese Aufhebung keine vollkommene, indem die Vereinigung der rothen Strahlen im Auge weiter hinten als jene der blauen erfolgt, so daß das Roth näher erscheint als das Blau; denn es erscheinen die Gegenstände nur in dem Auge anpassenden Entfernungen ganz rein und ohne farbiger Einsäumung, welche sonst

mehr oder weniger immer vorhanden ist und leicht an dem Rande eines nur wenige (4—6) Zolle vom Auge abstehenden dunklen Gegenstandes bemerkt wird, wenn man an demselben vorbei nach weiter entfernten und dem Auge deutlich erscheinenden Gegenständen sieht.

Ad 2. Damit das Netzhautbild eine entsprechende Helligkeit habe, muß vom betrachteten Gegenstande eine gehörige Lichtmenge ins Auge kommen. In dieser Beziehung spielt die Pupille eine wichtige Rolle. Bei starkem Lichte, welches einen Ueberreiz der Netzhaut-Nerven bewirken und dadurch das Sehen beeinträchtigen oder gar eine momentane Blindheit verursachen würde, zieht sich nämlich die Pupille zusammen und läßt von jedem Punkte des Gegenstandes nur einen kleinen Lichtkegel ins Auge gelangen; bei schwachem Lichte hingegen erweitert sie sich und nimmt dann größere Lichtkegel auf. Zusammenziehung und Erweiterung erfolgen ohne unser Zuthun von selbst, und die Wirkung beider hat ihre Grenzen: bei zu schwachem Lichte nützt die möglichste Erweiterung und bei gar zu intensivem die stärkste Zusammenziehung nicht; in beiden Fällen bleibt das Sehen unmöglich. Uebrigens liegen diese Grenzen sehr weit auseinander und hängen sehr von der Gewöhnung ab: denn wir können z. B. beim Sonnenlichte, welches 12000 Mal stärker, und auch beim Vollmondlichte, welches 25 Mal schwächer als das Licht einer Wachskerze ist, lesen und kommen, wenn wir uns lange genug in dunklen Räumen aufhalten, endlich dahin, daß wir dort noch recht gut sehen, wo für ans Tageslicht gewöhnte Augen völlige Finsterniß ist.

Ad 3. Was die zum gehörigen Sehen nöthige Größe des Netzhautbildes anbelangt, so darf dieses, wie die Erfahrung lehrt, bei gewöhnlicher Beschaffenheit des Auges und bei mäßiger Beleuchtung des betreffenden Gegenstandes in der Länge und Breite nicht weniger als 0·001 Zoll betragen, muß somit unter einem Winkel von ½ Minute erscheinen. Bei stärkerer Beleuchtung und mit empfindlicheren Augen sieht man noch unter weit kleineren Winkeln. Intensiv selbstleuchtende Körper, z. B. Fixsterne, werden noch unter Winkeln gesehen, die ihrer Kleinheit wegen nicht mehr meßbar sind. Uebrigens ist der in Rede stehende Winkel auch je nach der Farbe des ins Auge gelangenden Lichtes verschieden. Von der Größe des Netzhautbildchens eines Gegenstandes hängt die Größe, unter welcher der Gegenstand erscheint, d. i. die sogenannte scheinbare Größe desselben ab; diese muß daher durch Alles geändert werden, was die Bildgröße auf der Netzhaut ändert. Beobachtungen an Menschen- und Thieraugen haben Volkmann gelehrt, daß wenn man von jedem Punkte eines betrachteten Gegenstandes zu dem ihm entsprechenden Punkt des Netzhautbildchens eine gerade Linie zieht, alle diese Linien sich in einem und demselben Punkte schneiden, der im Inneren des Auges und zwar etwas hinter der Krystalllinse liegt. Diesen Punkt nennt Volkmann den Kreuzungspunkt und die besagten in demselben sich schneidenden Linien nennt er Richtungslinien des Sehens. Stellt nun in Fig. 634 A ein Auge, mon einen Theil der Netzhaut, ab einen leuchtenden Gegenstand, $a_1 b_1$ das Netzhautbildchen desselben, ferner $a a_1$ und $b b_1$ die Richtungslinien für die äußersten Punkte a, b des Gegenstandes und c den Kreuzungspunkt vor; so ist der Winkel acb oder der gleiche Winkel $a_1 c b_1$ der schon früher, nämlich auf S. 675 besprochene optische Winkel. Dieser, auch Seh- oder Gesichtswinkel genannt, ist offenbar der Größe des Netzhautbildes proportional, und man kann deshalb mit Recht sagen, daß die scheinbare Größe der Gegenstände von der Größe des Sehwinkels abhänge. Er selbst aber wird durch die wirkliche Größe des Gegenstandes und durch die Entfernung des letzteren vom Auge bestimmt; er wächst,

Fig. 634.



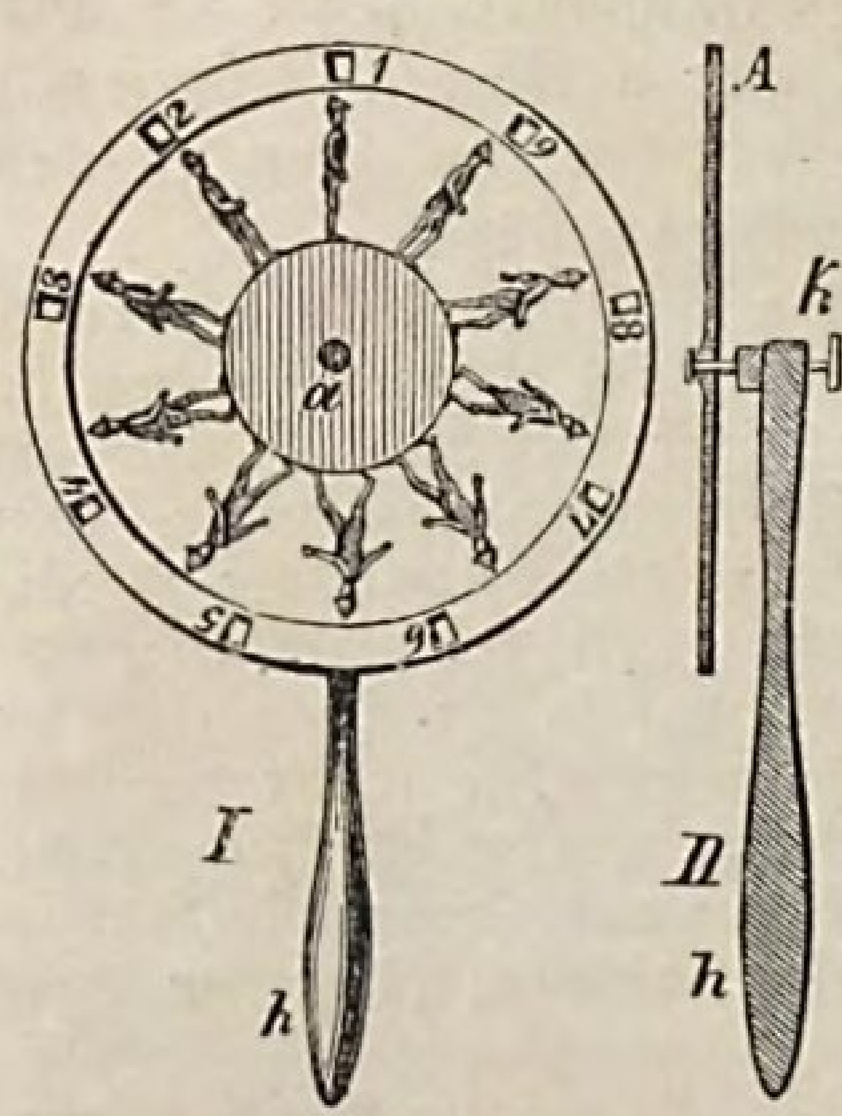
wie jene zu und diese abnimmt. Zwei ungleich große Gegenstände, z. B. ab und $\alpha\beta$, haben daher eine gleiche scheinbare Größe, wenn ihre wirklichen Größen mit ihren Entfernungen vom Auge im geraden Verhältnisse stehen, und von an und für sich gleich großen Körpern erscheint der dem Auge nähere größer.

Deswegen erscheint in einer aus parallelen Baumreihen gebildeten Allee dem durch dieselbe nach ihrer Länge hin sehenden Beobachter der Abstand eines Baumes von dem in der zweiten Reihe ihm gegenüberstehenden desto kleiner, je weiter diese zwei Bäume vom Beobachter entfernt sind, gerade so, als ob die Allee in der Ferne immer enger würde. Eben so scheinen in einem langen, gleich weiten und gleich hohen Gange die Seitenwände zu convergiren, der Fußboden sich zu heben und die Decke sich zu senken, weil der gegenseitige Abstand je zweier in den Seitenwänden und je zweier im Fußboden und in der Decke einander gegenüber liegender Punkte unter desto kleinerem Winkel gesehen werden, je größer die Entfernung dieser Punkte vom Auge ist. Auf gleiche Weise erklärt sich, warum die Meeresfläche, eine ebene Straße u. dgl. in der Ferne ansteigend erscheint; warum uns, wenn wir dicht an einem Thurme, an einer hohen Mauer, Säule o. dgl. emporsehen, dieselben (über den Kopf heraus) geneigt vorkommen u. s. w.

Ad 4. Der Erfahrung gemäß muß jeder Lichteindruck auf die Netzhaut eine Zeit lang anhalten, damit er zum Bewußtsein gebracht und durch ihn eine Lichtempfindung hervorgerufen (gleichsam entwickelt) werden könne, und ist eine solche Empfindung entwickelt, so dauert sie, selbst nachdem der Eindruck, durch den sie hervorgerufen wurde, bereits aufgehört hat, noch eine gewisse Zeit fort . . . (1). Plateau's Versuchen zu Folge hängt diese Zeit unter sonst gleichen Umständen von der Farbe des Lichtes ab. Den stärksten und dauerndsten Eindruck bewirkt Weiß, dann kommt Gelb, nach diesem Roth und zuletzt Blau. Bemerkenswerth ist, daß bei sonst schwacher Beleuchtung mit weißem Lichte die blaue Farbe sich geltender macht als die rothe, und zwar aus derselben Ursache, aus welcher hohe Töne stärker gehört werden als tiefe. Folgen Eindrücke sehr schnell nach einander, so daß die Wirkung des einen noch fortdauert, wenn der folgende beginnt; so fließen ihre Wirkungen in einander und man erhält eine Reihe continuirlich nach einander folgender, in ein ununterbrochenes Ganzes verschmelzender Lichtempfindungen, gerade so, als ob das Auge einen einzigen Eindruck von längerer Dauer empfangen hätte . . . (2).

Aus dem unter (1) Gesagten ist begreiflich, daß man eine abgeschossene Flintenkugel (nahe am Laufe, oder so lange sie überhaupt noch eine große Geschwindigkeit hat) wegen der zu geringen Dauer des Eindruckes, den sie im Auge macht, nicht sehen kann; und eben so erhellet, warum man das continuirliche Fortrücken der Gestirne bei ihrer (scheinbaren) täglichen Bewegung oder des Minuten-Zeigers auf dem Uhr-Zifferblatte nicht zu erkennen vermag (denn der Eindruck, den diese Objecte von einer bestimmten Stelle aus im Auge bewirken, dauert einige Zeit ($^1/_5$—$^1/_3$) Sekunde fort und macht erst dann einem neuen Eindrucke Platz; nach Verlauf dieser Zeit ist jedoch das betreffende Object so wenig fortgerückt, daß der Sehwinkel, unter dem uns der Abstand der Stelle, wo dasselbe sich jetzt befindet, von der früheren, erscheinen müßte, zu klein ist, um wahrgenommen zu werden, der Eindruck von der ersteren Stelle her dauert aber noch fort, es erscheint daher das Object noch an dieser Stelle, also stillstehend). In (2) finden unter andern folgende Erscheinungen ihre Erklärung: Bewegt man eine glühende Kohle schnell genug im Kreise herum, so erscheint ein kontinuirlicher glühender Kreis, weil die Kohle schon wieder zu ihrem Ausgangspunkte zurückkehrt, bevor noch die Eindrücke, die von den übrigen Punkten des Kreises aus durch sie im Auge bewirkt wurden, erloschen sind. Wird eine Scheibe aus Kartenpapier, Holz, Bein o. dgl. und von einigen Zollen Durchmesser, auf deren beiden Seiten verschiedene Figuren, z. B. auf der einen ein Vogel, auf der andern ein Käfig, in entsprechender Anordnung gemalt oder gezeichnet sind, um eine in der Mitte ihrer Ebene liegende Axe sehr schnell gedreht (etwa mittelst zweier Schnürchen, die an entgegengesetzten Punkten des Randes der Scheibe befestigt sind, straff angezogen zwischen den Fingern beider Hände gehalten und um ihre gemeinschaftliche Längenaxe gedreht werden); so erscheinen beide Figuren vereinigt, es scheint also der Vogel im Käfige zu sitzen. Diese artige Spielerei führt den Namen Thaumatrop. Auf gleichem Grunde beruhen auch die interessanten Phänomene, die Stampfer's stroboskopische Scheiben zeigen. Es sind dies Pappscheiben von etwa 1 Fuß Durchmesser (I Fig. 635), die sich einzeln um eine durch den Mittelpunkt gehende Axe a in rasche Rotation versetzen lassen (die Vorrichtung hierzu ist in der

Fig. 635.



Figur bei II ersichtlich, wo A die Scheibe im durch ihre Mitte gehenden Durchschnitte vorstellt) und deren jede auf der einen Seite um den Mittelpunkt herum mit Figuren (z. B. Menschen- oder Thiergestalten, Maschinen oder Theilen derselben in den einzelnen, während ihres Ganges nach einander folgenden Positionen) bemalt ist, ferner nahe am Rande (länglich 4eckige) Oeffnungen 1, 2, 3 . . . enthält, die alle unter einander gleichweit abstehen und auch gleiche Entfernungen vom Mittelpunkte der Scheibe haben. Setzt man nun die am Handgriffe h gehaltene Scheibe durch Drehen des ränderirten Knopfes k in schnelle Rotation und hält während dem das Auge (auf der nicht bemalten Seite) so unverrückt hinter den Rand der Scheibe, daß die besagten 4eckigen Oeffnungen der Reihe nach an demselben vorbei passiren und man durch diese Oeffnungen in einem der bemalten Seite zugekehrten Planspiegel die Bilder der gemalten Figuren sieht; so erscheinen diese in voller, ganz natürlicher Bewegung. Die Erklärung dessen ist folgende. Betrachtet man durch eine der Randöffnungen in der Scheibe einen gegenüber befindlichen Gegenstand und dreht die Scheibe so schnell, daß immer spätestens von $\frac{1}{3}$ zu $\frac{1}{3}$ Secunde eine Oeffnung nach der andern vor dem Auge anlangt, so wird man trotz dem, daß diese Oeffnungen durch undurchsichtige Zwischenräume getrennt sind, den besagten Gegenstand doch continuirlich sehen müssen, weil jeder Lichteindruck mindestens $\frac{1}{3}$ Secunde fortdauert, mithin der Eindruck, den dieser Gegenstand durch eine Oeffnung hindurch im Auge erzeugt hat, noch nicht erloschen ist, wenn er durch die nächstfolgende Oeffnung einen neuen Eindruck bewirkt, daher die durch alle einzelnen Oeffnungen im Auge hervorgebrachten Eindrücke zusammenfließen und als ein einziger, ununterbrochener Eindruck erscheinen werden. Präsentirt sich nun der Gegenstand nach den nämlichen kurzen Zwischenzeiten, nach welchen die einzelnen Oeffnungen am Auge vorübergehen, immer in andern Stellungen, so müssen auch diese ohne Unterbrechung aneinander gereiht und verschmolzen erscheinen. Die Stelle des in Rede stehenden Gegenstandes vertritt das im Planspiegel erscheinende Bild der zunächst unter der Oeffnung, durch welche man eben sieht, gezeichneten oder gemalten Figur. Ist dieß z. B. eine menschliche Figur und ist dieselbe, wie bei I Fig. 635, unter jeder der nach einander folgenden Oeffnungen (überdies entsprechend davon abstehend) in einer andern jener verschiedenen Positionen dargestellt, welche ein Mensch (rücksichtlich der gegenseitigen Lage der Füße u. s. w.) beim Laufen wirklich successive annimmt, so wird man im Spiegel eine ganz natürlich laufende Figur sehen. Mit den stroboskopischen Scheiben in der Hauptsache ganz identisch ist das Phänakistikop, welches von Plateau in Brüssel zu der nämlichen Zeit (1832) wie die besprochenen Scheiben von Stampfer in Wien erfunden wurde.

Müller hat die stroboskopischen Scheiben zur Versinnlichung der Gesetze der Wellenbewegungen angewendet; die von ihm entworfenen Zeichnungen zur Darstellung der Wasserwellen, stehender und fortschreitender Seilwellen, dann fortschreitender und stehender Schallwellen, erfüllen ihren Zweck in recht netter Weise. Eine andere recht artige Erscheinung, die in dem Andauern der Eindrücke auf die Netzhaut beruht, ergibt sich nach Plateau auf folgende Art. Man schneide aus weißem, hinreichend dickem Papier zwei kreisrunde Scheiben, die eine 30, die andere 33 Centimeter im Durchmesser, theile die erstere in 8 gleiche Sektoren, streiche zwei einander diametral gegenüberstehende derselben roth, zwei andere solche blau an und zwar mit recht schönen Gummifarben, bemale dann das folgende 3. Paar einander gegenüberstehender Sektoren so wie einen kreisrunden Raum von 4 Centim. Durchmesser um den Mittelpunkt der Scheibe herum mit recht dunklem Schwarz und belasse das 4. Sektorenpaar weiß, überstreiche endlich die ganze Scheibe mit farblosem Firniß, welcher sie mehr durchscheinend macht. Die Anordnung der Sektoren ist übrigens so, daß auf die schwarzen die rothen, auf diese die weißen und endlich die blauen folgen. In der 2. Scheibe mache man zwei einander ebenfalls diametral gegenüberstehende Ausschnitte, die eine gleiche Form wie die Sektoren der 1. Scheibe haben, aber nur bis auf 3 Centimeter an den Scheibenumfang hingehen, und deren Winkelbreite nur $\frac{3}{4}$ von jener der Sektoren beträgt. Zwischen den Enden dieser Ausschnitte nach dem Mittelpunkte der Scheibe hin lasse man einen Abstand von 4 Centimeter und schwärze dann die ganze Scheibe. Man befestige nun diese zwei Scheiben durch Muttern in ihren Mitten auf 2 kleinen kupfernen Rollen von 3 Centim. Durchmesser und bringe die letzteren so an einem passenden Gestelle an, daß die Scheiben in vertikaler und paralleler Stellung 3 Centim. von einander abstehen. Die Rollen nehmen

Schnüre auf, die über andere größere Rollen gehen, die von Holz, 15 Centimeter im Durchmesser und auf einer gemeinschaftlichen, mit einer Kurbel versehenen Axe befestigt sind. Beide Rollen und somit auch beide Scheiben werden durch die Schnüre nach einerlei Richtung gedreht. Hinter dem Apparate steht eine stark leuchtende Lampe und der Beobachter befindet sich wenigstens 1 Meter weit vor dem Apparate der schwarzen Scheibe gegenüber und beide Augen in der Höhe der Scheibenmittelpunkte haltend, während hinreichend schnell gedreht wird. Da die Holz- und Kupferrollen nicht mathematisch gleich groß und die Schnüre nie ganz gleich gespannt sind, so wird eine kleine Ungleichheit der Geschwindigkeiten beider Scheiben stattfinden, und auf dieser Ungleichheit beruht die eintretende Täuschung, welche darin besteht, daß der Beobachter die anfangs ganz schwarz gesehene Fläche (wegen allmälig immer stärkerem Eingreifen der Ausschnitte in die rothen Sektoren) nach und nach sich gleichförmig und immer stärker roth färben, endlich glänzend roth sieht, worauf das Roth (wegen anfangendem Uebergreifen der weißen Sektoren) wieder immer mehr erblaßt, endlich Weiß wird, welches sich hierauf in ein immer lebhafter werdendes Blau verändert und, nachher stets dunkler werdend, endlich wieder von Schwarz verdrängt wird.

322. Nachbilder. Subjective Farben. So wie bei zu kurzer Andauer des Lichteindruckes auf die Netzhaut keine Lichtempfindung entsteht, eben so darf der Lichteindruck, soll er gehöriges Sehen zur Folge haben, auch nicht zu lange anhalten, weil sonst die Theile der Netzhaut, auf die er einwirkt, überreizt, dadurch abgestumpft und für weitere Lichteinwirkungen auf einige Zeit unempfindlich gemacht werden. Solche Ueberreizungen erfolgen natürlich in desto kürzerer und verschwinden (so daß die verloren gegangene Empfindlichkeit wieder zurückkehrt, das Auge wieder erholt ist) erst nach desto längerer Zeit, je intensiver die ursprüngliche Lichteinwirkung war. Hierauf beruhen die sogenannten Nachbilder. Sieht man z. B. ein Fenster gegen den hellen Himmel hin unverwandt längere Zeit und bis zur Ermüdung des Auges an und schließt dann letzteres, so sieht man immer noch das Bild des Fensters, jedoch erscheinen jetzt umgekehrt die Scheiben dunkel und die Fensterrahmen hell; ist das Auge sehr reizbar, so zeigt sich dieses Nachbild auch bei offenem Auge, wenn man dieses gegen eine matt erhellte Fläche (eine weiße Zimmerwand) wendet. Diese Erscheinung erklärt sich wie folgt. Die Theile der Netzhaut, auf welche beim erwähnten unverwandten Hinsehen das Bild der hellen Glasscheiben fiel und welche daher einen stärkeren Lichtreiz erfahren haben, sind abgestumpfter, als die vom Bilde der dunkeln Fensterrahmen getroffenen; während also diese durch das schwache Licht, welches bei geschlossenem Auge immer noch durch die durchscheinenden Augendeckel passirt, oder bei offenem Auge von der besagten Wand aus in dasselbe eindringt, noch lebhaft afficirt werden, erhalten jene durch eben dieses Licht eine schwächere Affektion und es geht somit jetzt von der stärker gereizten Partie der Netzhaut, (auf welche das Fensterscheibenbild fiel), eine schwächere Empfindung aus als von den dem Fensterrahmenbilde entsprechenden, weniger abgestumpften Netzhaut-Theilen.

Einen ganz ähnlichen Grund hat folgende bekannte Erscheinung. Betrachtet man einen schwarzen Fleck auf weißem Grunde so lange unausgesetzt, bis eine Anstrengung des Auges gefühlt wird, und wendet hierauf letzteres von diesem schwarzen Flecke weg und nach dem nächsten Theil der ihn umgebenden weißen Fläche hin, so erscheint dieser heller und glänzender als die entfernteren; geschieht hingegen das Nämliche mit einem weißen Flecke auf dunklem (grauem) Grunde, so erscheint dem von dem weißen Flecke abgewendeten Auge der dunkle Grund in der Nähe dieses Fleckes dunkler als an den entfernteren Stellen. Im ersteren Falle treffen nämlich im Auge nach der erwähnten geringen Verrückung desselben die von den zunächst um das Schwarz herum befindlichen weißen Stellen kommenden Strahlen jenen Theil der Netzhaut, der vorher beim Blick auf das Schwarz gleichsam ausgeruht hat und daher nun für das Licht empfindlicher ist, als die andern Netzhauttheile, die früher von weißen Strahlen gereizt wurden und deswegen nun weniger Empfindlichkeit für diese Strahlen besitzen. Im zweiten Falle hingegen treffen nach Verrückung des Auges die vom Grau der nächsten Umgebung des weißen Fleckes ausgehenden Strahlen jene Netzhautpartie, die vorher durch das Licht des weißen Fleckes abgestumpft worden und daher von den besagten Strahlen weniger lebhaft afficirt wird als die benachbarten Parthien, so daß das Grau zunächst an dem Weiß dunkler erscheinen muß als an den andern Stellen. Von der bekannten Erscheinung runder, vor den

Augen schwebender Schattenbilder, nachdem man in die auf- oder untergehende Sonne gesehen hat, wird nach Vorstehendem sich nun Jedermann selbst Rechenschaft geben können.

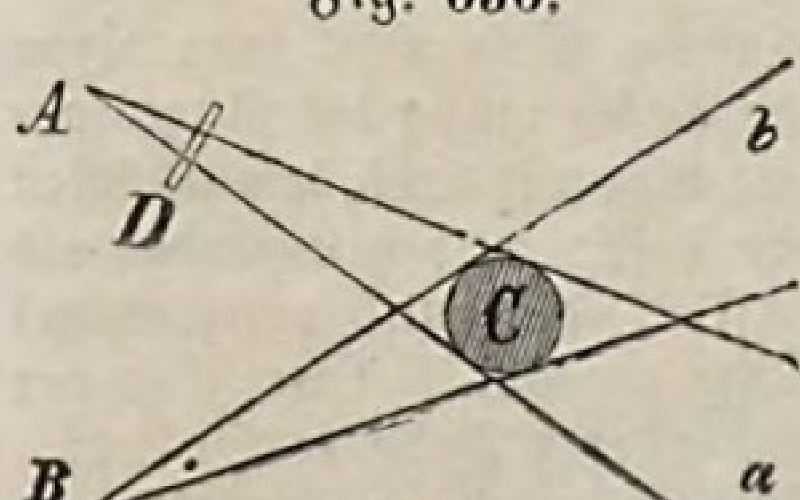
Mit dem eben besprochenen Phänomen sehr nahe verwandt sind Farben, die unter gewissen Umständen wahrgenommen werden und subjective (oder auch physiologische) Farben genannt werden, weil sie nicht, so wie die objectiven Farben, (**299**) in der Beschaffenheit außer dem Auge befindlicher Objecte und des von solchen ins Auge gelangenden Lichtes, sondern in einem eigenthümlichen, durch Ueberreiz in der Netzhaut hervorgerufenen, also subjectiven Zustande ihren Grund haben. Von dieser Art sind unter vielen andern folgende Erscheinungen:

1. Betrachtet man lange unverwandt einen stark erleuchteten farbigen Gegenstand (z. B. eine Stange schön rothen Siegellacks), der auf intensiv beleuchtetem weißem Papiere liegt, und blickt dann vom Gegenstande weg auf eine freie Stelle des weißen Papiers; so sieht man hier dessen Bild, aber die Farbe dieses letzteren ist zur natürlichen Farbe des Gegenstandes complementär. (S. 641.) Das Nachbild der Siegellackstange ist also blaßgrün. Es wird nämlich der Theil der Netzhaut, auf welchen die farbigen Strahlen des betrachteten Gegenstandes lange und intensiv eingewirkt haben, für dieselben abgestumpft oder wenigstens minder empfindlich, so daß von dem bei Anblick des weißen Papiers auf die so minder empfindlich gewordene Netzhautstelle gelangenden weißen Lichte nur mehr diejenigen Theile Empfindung erregend einwirken können, die von Weiß nach Hinwegnahme der Farbe, für welche die Abstumpfung erfolgte, übrigbleiben, d. i. die zu dieser Farbe complementär sind.

Aus der nämlichen Ursache zeigen die früher erwähnten runden Nachbilder, die vor unseren Augen schweben, nachdem wir in die Sonne gesehen haben, immer eine blaue, d. i. zu dem Orange des Lichtes der auf- oder untergehenden Sonne komplementäre Färbung. Daß gewöhnlich mehrere solche Bilder erscheinen, kommt daher, weil wir das Auge bei Betrachtung der Sonne nicht so unverrückt halten, daß ihr Bild fortwährend auf einen und denselben Theil der Netzhaut fallen könnte. Hier mag gelegenheitlich bemerkt werden, daß alle wie immer entstehende Nachbilder mehr oder weniger und zwar desto entschiedener gefärbt sind, durch einen je intensiveren Lichteindruck sie hervorgerufen worden, und man begreift nach dem Vorhergehenden leicht den Grund hievon. Oft verändern diese Bilder aber ihre Farbe. So wird das nach langem Fixiren einer Kerzenflamme, hierauf erfolgtem Schließen der Augen und Abwenden derselben nach einem dunklen Ort hin erscheinende Nachbild der Flamme zuerst völlig gelb, geht dann der Reihe nach allmälig in Orange, Roth, Violet und zuletzt in immer dunkler werdendes Blau über, bis es endlich ganz verschwindet. Die Ursache dieser Erscheinung liegt wohl in einer ungleichen Dauer der Nachwirkung der verschiedenen prismatischen Farben auf die Netzhaut.

2. Farbige Schatten. Stellt man in einem verfinsterten Zimmer vor zwei Lichtflammen **A**, **B** (Fig. 636), die eine vor ihnen liegende (oder stehende)

Fig. 636.



weiße Papierfläche beleuchten, und, von beiden gleich weit entfernt, einen undurchsichtigen Gegenstand z. B. einen hölzernen Cylinder **C** auf, so entstehen auf der Papierfläche zwei graue Schatten, a, b; wird jedoch vor der einen Flamme, z. B. **A** eine farbige, z. B. rothe Glasplatte **D** angebracht, so erscheint der von dem durch diese Platte gehenden rothen Lichte erleuchtete Schatten b in der Farbe des Glases, ist in un-unserem Beispiele also roth, der andere Schatten a hingegen hat die complementäre Farbe, ist also grün. Erklärung: Der Schattenraum b erhält von **A** her rothes Licht und erscheint deswegen roth beleuchtet; aber auch in den Raum um b herum mit Ausnahme des Schattenraumes a, welcher nur von **B** kommendes weißes Licht empfängt, ist das rothe Licht vorherrschend (weil zu dem rothen Bestandtheil des von **B** dahin gelangenden weißen Lichtes noch das Roth vom **A** hinzukommt), so daß gegen die stärkere Einwirkung dieses vereinigten rothen Lichtes auf das Auge

jener schwache Eindruck, den der verhältnißmäßig nur geringe rothe Antheil des von a aus dem Auge zugesendeten weißen Lichtes hervorzubringen vermag, als wirkungslos verschwindet, und es daher gerade so ist, als ob das Auge vom Schattenraume a her gar kein Roth, sondern nur das mit diesem zu Weiß sich ergänzende (außer dem Roth im Weiß nur noch vorhandene) Grün ins Auge bekäme. Das schöne Phänomen complementär gefärbter Schatten zeigt sich auch, wenn man bei beginnender Dämmerung eine brennende Kerze ans Fenster und diesem gegenüber eine weiße Fläche stellt. Von jedem dazwischen befindlichen Gegenstande erscheint dann auf dieser Fläche ein doppelter Schatten: einer rührt vom Kerzen- der andere vom Tageslichte her, ersterer ist blau und letzterer gelb gefärbt. Die Erklärung ergibt sich genau wie im vorigen Falle, wenn man das dort vom rothen Lichte Gesagte hier auf das gelbe Licht der Kerzenflamme anwendet und dem von **B** kommenden weißen Lichte das Weiß des Tageslichtes substituirt. Es ist nämlich gerade so, als ob beim vorigen Experimente anstatt des rothen Glases ein gelbes vor die Flamme **A** gebracht worden wäre: denn in diesem Falle würde man auch den Schatten **b** gelb und den Schatten a blau gefärbt erhalten haben.

Auf ganz gleiche Art ergibt sich die Erklärung der blauen Farbe, welche die bei Auf- oder Untergang der Sonne von Bäumen oder andern Gegenständen im Freien auf weiße Flächen geworfenen Schatten stets zeigen, und welche daher kommt, daß das Auge von dem beim Sonnenauf- oder Untergange in den Räumen außerhalb der Schatten vorherrschenden orangefarbigen Lichte stark afficirt wird, und daher für den nur schwachen Eindruck unempfindlich ist, den die wenigen gelben Strahlen bewirken können, welche in dem ihm vom grauen Schatten her zugeworfenen weißen Lichte enthalten sind. Daß, wenn in ein Zimmer einerseits durch eine Fensterscheibe oder einen Vorhang von grüner Farbe grünes Licht und von einer andern Seite her weißes Tageslicht gelangt, alle Schatten, welche in die bloß von letzterem Lichte getroffenen Räume hinein fallen, roth erscheinen müssen, begreift man nun von selbst. Ebenso ist klar die Entstehung der zwei Bilder, eines rothen und eines grünen, welche eine dicke grüne Glasplatte von einem weißen vor derselben befindlichen Papierstreifen zeigt. Das grüne Bild kommt nämlich von dem von der vordern Glasfläche reflektirten weit intensiveren grünen Lichte, durch dessen lebhaften Eindruck das Auge so gereizt wird, daß es für das schwächere Grün des von der hintern Glasfläche durch Reflexion ihm zugesendeten minder intensiven Lichtes nicht mehr empfindlich genug ist, also nur von dem rothen, d. i. von jenem Antheil des nach dieser Richtung empfangenen weißen Lichtes afficirt werden kann, der zu Grün complementär ist.

Gegen die von den eben beschriebenen Farbenerscheinungen gegebene Erklärung sind manche Bedenken erhoben worden, namentlich fand man solche in dem Umstande, daß die farbigen Nachbilder auch dann erscheinen, wenn in das von dem anhaltend betrachteten Gegenstande weggewendete Auge durchaus gar kein weißes Licht gelangen kann. Die Gewichtigkeit dieses Umstandes läßt sich in der That nicht verkennen; jedoch auch von den andern bisher aufgestellten Ansichten, die dem weißen Lichte keinen Antheil an den besagten Farbenerscheinungen zugestehen, ist keine für sich allein ganz genügend. Uebrigens setzt gerade die Erfahrung, daß in allen Fällen, wo das von dem anhaltend betrachteten Gegenstande auf eine schwarze statt auf eine weiße Fläche hin abgewendete Auge, auch ein farbiges Nachbild sieht, dieses aber immer viel schwächer als auf einer weißen Fläche ist, den bestrittenen Antheil des weißen Lichtes, (da solches, wenn gleich in sehr geringer Menge, auch von jeder dem Auge schwarz erscheinenden Fläche diesem zugesendet wird) außer allem Zweifel.

So wie die eben betrachteten Erscheinungen, hat auch jene der sogenannten **Irradiation** nur einen subjectiven Grund, weswegen hier anschließlich von ihr die Rede sein soll. Dieselbe besteht, der Wesenheit nach, darin, daß helle Gegenstände auf dunklem Grunde merklich vergrößert und umgekehrt dunkle Gegenstände auf hellem Grunde merklich verkleinert erscheinen, und wird durch die Annahme erklärt, daß die Wirkung des Lichtes auf der Netzhaut sich nicht blos auf die von den Strahlen getroffene Stelle beschränke, sondern sich auch auf eine sehr kleine Entfernung ringsum diese Stelle herum erstrecke. Recht auffallend zeigt sich die Erscheinung, wenn man eine rechteckige, etwa 8″ lange und 6″ breite Pappscheibe auf der einen Hälfte ihrer Länge mit weißem, auf der andern mit schwarzem Papier überzieht, dann die weiße Fläche durch einen schwarzen 2—3‴ breiten Pa-

pierstreifen, die schwarze Fläche hingegen durch einen eben so breiten weißen Papierstreifen in Hälften theilt, (indem diese Streifen so aufgeklebt werden, daß sie nach einer und derselben geraden Linie in der Mitte der Pappscheibe und nach deren Länge hingeben), die Vorrichtung dann an ein Fenster stellt, so daß sie hell beleuchtet wird und endlich dieselbe aus einer Entfernung von 12—15 Fuß betrachtet. Es erscheint da der weiße Streifen auffallend breiter, als der schwarze. Uebrigens beträgt die Irradiation nicht für alle Personen gleich viel, was ganz natürlich ist, da sie, wie schon bemerkt worden, keinen objectiven, sondern nur einen subjectiven Grund hat.

Offenbar ist auf die Irradiation wohl Rücksicht zu nehmen bei Beurtheilung der scheinbaren Dimensionen heller Objecte auf dunklem und dunkler Gegenstände auf hellem Grunde, und es ist daher in dieser Beziehung wichtig zu wissen: daß die Irradiation sich bei jeder Entfernung des sie erzeugenden Objectes zeigt; daß sie mit der Helligkeit des betreffenden Objectes aber in geringerem Verhältnisse als diese wächst; daß sie geschwächt wird, wenn das den Gegenstand umgebende Feld nicht völlig lichtlos ist, so daß die Schwächung desto mehr beträgt, je mehr die Helligkeit des besagten Feldes sich jener des Gegenstandes nähert; daß zwei benachbarte einander hinreichend nahe Irradiationen sich gegenseitig schwächen und zwar desto mehr, je näher sie einander sind; daß die Irradiation mit der Dauer der Anschauung des Gegenstandes zunimmt, unter sonst gleichen Umständen von einem Individuum und von einem Tag zum andern schwankt; daß sie durch Sammellinsen verringert, durch Zerstreuungslinsen gesteigert wird und daß diese Wirkung mit der Brennweite in umgekehrtem Verhältnisse steht.

In unserer Subjectivität liegt ferner der Grund noch vieler Gesichtserscheinungen anderer Art, z. B. warum, wenn man im Wagen schnell fährt und die am Wege stehenden Gegenstände sich schnell vorbei bewegen sieht, diese Gegenstände in dem Augenblick eine der vorigen entgegengesetzte Bewegung anzunehmen scheinen, wo der Wagen anhält. Es erklärt sich dieses und manches andere analoge Phänomen aus dem Principe der Oscillationen der Eindrücke, welches für das Gesichtsorgan und auch für alle andern Sinnesorgane zu gelten scheint und in Folgendem besteht. Sobald ein solches Organ einer längeren Erregung unterworfen wird, setzt es einen Widerstand entgegen, der mit der Dauer dieser Erregung wächst. Wird es dann plötzlich der erregenden Ursache entzogen, so sucht es seinen normalen Zustand wieder zu gewinnen und zwar in analoger Art, wie eine Spiralfeder, die, aus ihrer Gleichgewichtsform abgelenkt und hiernach wieder losgelassen, durch abnehmende Oscillationen, vermöge derer sie wechselweise nach der einen und andern Seite ausschlägt, in die Gleichgewichtsform zurückkehrt.

323. Weite des deutlichen Sehens. Kurzsichtigkeit. Weitsichtigkeit. Nach Früherem (S. 702) ist es Bedingung des deutlichen Sehens, daß die Bilder der betrachteten Gegenstände auf die Netzhaut fallen; dies ist aber bei einem und demselben Auge, die Beschaffenheit und Anordnung seiner brechenden Mittel und der andern Theile als unveränderlich vorausgesetzt, bekannter Maßen nur bei gewisser, von dieser Beschaffenheit und Anordnung abhängigen Entfernung der Gegenstände möglich. Da jedoch, wie die Erfahrung lehrt, das nämliche Auge in verschiedenen Entfernungen deutlich sieht, so muß in demselben etwas veränderlich sein, so daß es sich diesen verschiedenen Entfernungen accommodiren (anpassen) kann. Für das Wahrscheinlichste wurde immer gehalten, daß sich die Krystalllinse mittelst der an ihrer Kapsel angehefteten Muskel in dem Maße mehr oder weniger convex machen lasse, und daß gleichzeitig die Netzhaut in dem Maße vor oder zurück trete, als es nöthig ist, damit die Strahlen jedes von einem Punkte des Gegenstandes auf die Pupille fallenden Lichtkegels sich genau auf der Netzhaut wieder in einem Punkte vereinigen.

Eine andere Ansicht über den Grund des Deutlichsehens in verschiedenen Entfernungen hat Sturm aufgestellt. Das Wesen derselben ergibt sich aus Folgendem. Nach allen bisher von Chossat, Sömmerring, Krause u. A. an Augen vorgenommenen Messungen sind die Flächen, welche die Mittel des Auges trennen, nicht sphärisch, auch nicht durch Umdrehung erzeugbar, sie sind Stücken von Ellipsoiden ähnlich, ohne daß sie einer algebraischen Gleichung entsprechen. Diesem zu Folge existirt, wie geometrische Betrachtungen zeigen, für von einem Punkte ausgehende Strahlen nicht bloß ein einziger Vereinigungspunkt (Brennpunkt) auf oder in der Nähe der Netzhaut, sondern für jedes dünne durch die Glasfeuchtigkeit gegangene und die Netzhaut treffende Bündel gibt es eine von zwei nahe hinter einander gele-

genen Brennpunkten begrenzte Brennstrecke. Nähert oder entfernt sich der leuchtende Punkt, so verschieben sich die besagten beiden Brennpunkte gleichzeitig und in gleichem Sinne, bleiben aber immer hinter und nahe aneinander, und es braucht nur einer von ihnen noch ziemlich nahe bei der Netzhaut zu bleiben, damit das Sehen nicht aufhöre deutlich zu sein. Pouillet erklärt die in Rede stehende Thatsache wie folgt. Der Erfahrung gemäß ist die Krystalllinse aus einer großen Zahl von schalenartigen Schichten (**310**) ungleicher Krümmung und Dicke zusammengesetzt, von denen die inneren centralen ungleich mehr gekrümmt und daher stärker brechend sind, als die am Rande, so daß Strahlen, die durch letztere durchgehen, nicht nach demselben Punkte hin convergiren können, wie Strahlen, welche die centralen Schichten passiren. Die Krystalllinse ist demnach nicht eine Linse mit einem einzigen Focus, sondern hat unzählige verschiedene Brennpunkte. Will man nun nähere Objecte deutlich sehen, so zieht man desto mehr, je näher das Objekt ist, die Pupille zusammen (daß dies wirklich geschieht, lehrt die Erfahrung) und erzielt durch dieses Zusammenziehen, daß die Strahlen zur Linse zu gelangen abgehalten werden, welche zu weit vom Centrum der letzteren entfernt auffallen würden und sich erst hinter der Netzhaut vereinigen könnten. Will man hingegen in die Ferne sehen, so öffnet man die Pupille, so daß ein dicker Strahlenbüschel zur Linse gelangt, also auch der Rand der letzteren von Strahlen getroffen wird, welche dann auf der Netzhaut zusammentreffen und ein deutliches Sehen des entfernten Gegenstandes begründen u. s. w.

Die Accomodirungsfähigkeit des Auges geht aber nicht über gewisse Grenzen der Entfernungen hinaus. Im gesunden (normalen) Zustande sieht nämlich ein Auge, ohne sich anzustrengen, einen Gegenstand nicht mehr deutlich, wenn er demselben näher als 8—10 Zoll ist; in dieser Entfernung sieht es jedoch zugleich am deutlichsten und daher heißt sie auch die Weite des deutlichen Sehens, oder kurz, die Sehweite (S. 675). Wie man von selbst begreift, liegt die Ursache des undeutlichen Sehens in geringerer Weite in der zu großen Divergenz der dann von jedem Punkte ins Auge kommenden Strahlen, welche macht, daß diese durch die brechenden Mittel des Auges nicht genug convergent gemacht werden können, um sich auf der Netzhaut zu vereinigen, ihre Vereinigungspunkte (eigentlich die Punkte, nach welchen hin sie convergiren) vielmehr hinter die Netzhaut fallen müssen. Daß manche Augen zum ganz deutlichen Sehen eine viel größere, andere wieder eine beträchtlich kleinere Entfernung der Gegenstände als die besagte Sehweite von 8—10 Zoll benöthigen, und daß Augen der ersteren Art weitsichtige, Augen der letzteren Beschaffenheit aber kurzsichtige genannt werden, wissen wir ebenfalls schon aus **310** her.

Nach Fliedner's Untersuchungen hat jedes Auge in einem bestimmten Querschnitte eine kürzere und in einem darauf senkrechten eine längere Brennweite, und zwar ist diese bei den meisten Augen im horizontalen Querschnitte die kürzeste und im vertikalen die längste, so daß die Augen für vertikale Linien am kurzsichtigsten und für horizontale am weitsichtigsten sind. Der Grund hiervon ist, daß die Halbmesser der vertikalen Krümmungen der Krystalllinse größer sind als die der horizontalen, wie Hassenfratz fand. Das Auge braucht daher zum deutlichen Sehen in diesen auf einander senkrechten Richtungen einen andern Grad der Accomodation. Gibt man nun durch Neigen des Kopfes oder Bücken nach abwärts dem Auge eine andere Stellung, so ist in dieser neuen Position die erforderliche Accomodation eine gegen früher verschiedene und daher kommt (nach A. Müller) auch die Verschiedenheit des Erscheinens z. B. einer Landschaft, wenn man sie einmal bei normaler Augenstellung, das andere Mal bei gebückter Position des Kopfes (unter dem einem Arm oder zwischen die Beine durch) ansieht.

Offenbar fordert ein weitsichtiges Auge Strahlen von größerer Convergenz, ein kurzsichtiges hingegen von größerer Divergenz als jene der von einem 8—10 Zoll entfernten Punkte kommenden Strahlen ist, welche ein gesundes Auge auf der Netzhaut zu vereinigen vermag. (Diese letztgenannten divergenteren Strahlen können nämlich von einem weitsichtigen Auge, geringer Convexität seiner Hornhaut und Krystalllinse wegen, nicht stärker convergent gemacht werden, als daß ihr Vereinigungspunkt, wenn einer existirte, hinter die Netzhaut fiele; sie werden daher letztere in einem kleinen Kreise treffen, die Bilder der leuchtenden Punkte eines Gegenstandes werden demnach als zum Theil über einander fallende und einander verwirrende kleine Kreisflächen und das Bild des ganzen Gegenstandes muß somit undeutlich erscheinen. Ein kurzsichtiges Auge hingegen vereinigt, zu Folge starker Convexität

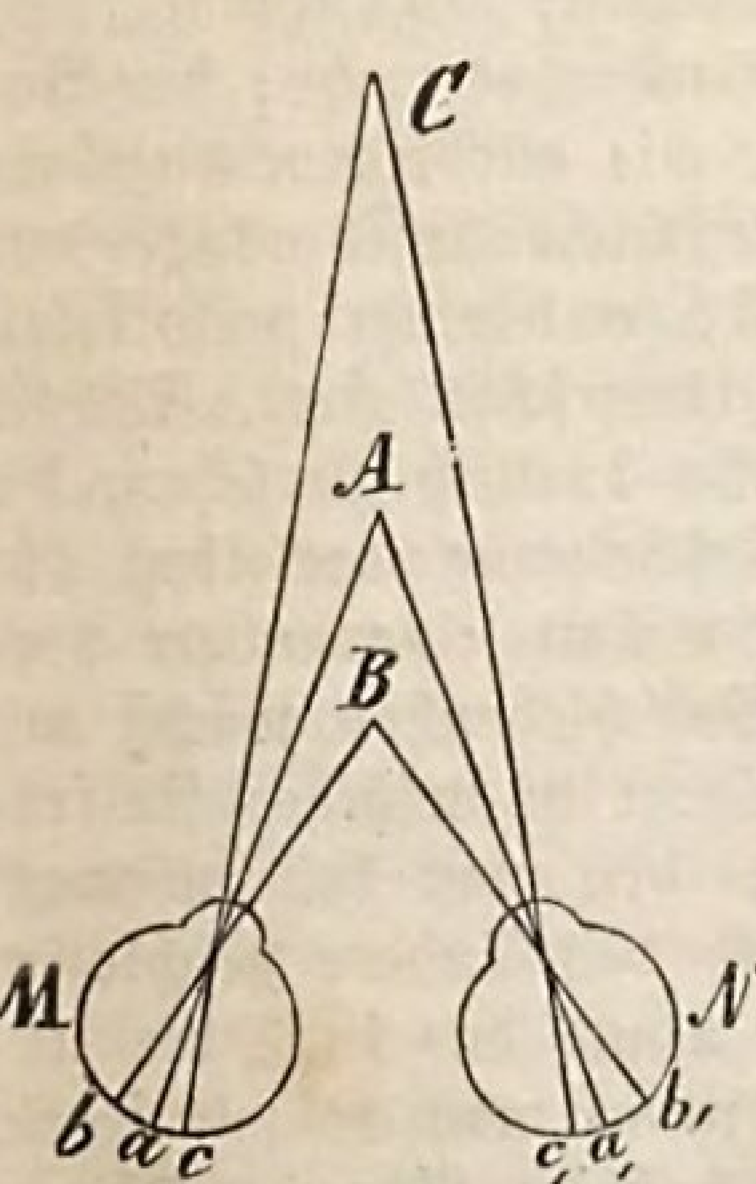
seiner Hornhaut und Krystallinse, die von 8 — 10 Zoll weit entfernten Punkten her divergirenden Strahlen schon in Punkten vor der Netzhaut; die von jedem solchen Vereinigungspunkte wieder divergent weiter gegen die Netzhaut gehenden Strahlen treffen diese Haut abermals in einem eigenen kleinen Kreise und aus dem Uebereinanderfallen der den einzelnen Punkten des leuchtenden Gegenstandes entsprechenden Kreise entspringt, ganz wie im vorigen Falle, Verwirrung und Undeutlichkeit im Bilde dieses Gegenstandes.) Demnach müssen auch weitsichtige und kurzsichtige Augen in der gewöhnlichen Sehweite eines gesunden Auges vollkommen deutlich sehen, wenn die aus dieser Weite von einem leuchtenden Punkte kommenden divergenten Strahlen, bevor sie das weitsichtige Auge treffen, in einem dem Grade der Weitsichtigkeit entsprechenden Maße weniger divergent und bevor sie in ein kurzsichtiges Auge eintreten, in der Kurzsichtigkeit angemessenem Grade divergenter gemacht werden, so als kämen sie im ersteren Falle von einem entfernteren, gerade um die Sehweite des weitsichtigen Auges abstehenden, und im letzteren Falle von einem näheren, in der Entfernung, in welcher das kurzsichtige Auge deutlich sieht, gelegenen Punkte her. Wie aus **304** unter Hinblick auf die Figuren 593 und 595 einleuchtet, wird erstere Wirkung durch eine unmittelbar vor dem (weitsichtigen) Auge angebrachte Sammellinse von gehöriger Brennweite und letztere Wirkung durch eine in gleicher Art angewendete Zerstreuungslinse von entsprechenden Krümmungen erreicht, indem eine Sammellinse jeden innerhalb ihrer Brennweite gebrachten Gegenstand (m n Fig. 593) in größerer Entfernung (z. B. bei m_1 n_1) erscheinen macht, eine Zerstreuungslinse hingegen von jedem außerhalb ihrer Focaldistanz befindlichen Gegenstand (m n Fig. 595) in geringerem Abstande ein Bild (m_1 n_1) erzeugt, so daß durch sie der Gegenstand dem Auge näher gerückt erscheint. Daß die zu dem besagten Zwecke dienenden Linsen Augengläser oder Brillen heißen, und Weitsichtige nur convexe, Kurzsichtige hingegen nur concave Brillen brauchen können, ist überflüßig zu erwähnen.

Bezüglich der Brillen, die bei gehöriger Anwendung und Beschaffenheit die Augen schonen, erhalten und überhaupt äußerst wohlthätig sind, im entgegengesetzten Falle aber sehr schädlich werden können, ist vorzüglich Folgendes zu beherzigen. Man gebrauche Brillen nur bei Vorhandensein von Kurzsichtigkeit oder Weitsichtigkeit und lasse sich in keinem andern Falle, etwa dadurch zu ihrer Anwendung verleiten, daß man mittelst derselben heller oder größer sieht als mit freien Augen. Eine Brille soll die Gegenstände nie schärfer, sondern in der Sehweite eines gesunden Auges nur ganz deutlich zeigen und dabei dem Auge keine Anstrengung verursachen; unter verschiedenen Linsen, welche dies leisten, ist immer der schwächeren, d. h. eine größere Brennweite besitzenden der Vorzug zu geben. Ein Haupterforderniß jedes Brillenglases ist, daß dessen Krümmungen genau sphärisch sind; deswegen beziehe man Brillen nicht aus der nächst besten Quelle, sondern nur von sachkundigen und in besagter Rücksicht vertrauenswürdigen Künstlern. Sind die Linsen, wie z. B. bei den sogenannten Stechern, bei den Sattelbrillen ohne Kopfspangen u. s. w. so gefaßt, daß man beliebig die eine oder die andere ihrer Flächen dem Auge zukehren kann, so sollen beide Flächen ganz gleiche Krümmungen haben. Wird aber, wie bei Sattelbrillen mit Kopfspangen, immer die nämliche Linsenfläche nach dem Auge gekehrt, dann sind die sogenannten periskopischen Gläser, d. s. converconcave Linsen, deren Concavität stets dem Auge zuzuwenden ist, in der Rücksicht vorzuziehen, weil sie auch das deutliche Sehen mehr seitwärts befindlicher Gegenstände gestatten. Wenn sich nämlich, um diese Gegenstände sehen zu können, das Auge hinter dem unverrückt bleibenden Brillenglase seitwärts bewegt, so fällt die Augenaxe mit der Axe des Brillenglases nicht mehr zusammen, sondern beide Axen sind gegen einander geneigt; das Auge erhält daher excentrisch durch das Brillenglas gegangene Lichtkegel, deren Strahlen (nämlich immer diejenigen, die von einem und demselben Punkte herkommen) es nur dann auf der Netzhaut wieder in einem einzigen Punkte vereinigen kann, wenn es sich vorher durch eine, stets mit Anstrengung verbundene und daher nachtheilige, schnelle Veränderung in seinem Innern diesem Umstande angepaßt hat. Dieser Nachtheil ist nun bei periskopischen Gläsern in weit geringerem Maße, als bei Linsen mit gleich gekrümmten Flächen vorhanden. Auch dem Uebelstande der ersteren Gläser, daß sie stark spiegeln (indem die äußere Fläche für die von der inneren nach außen reflektirten Strahlen wie ein Hohlspiegel wirkt, und falsche Bilder erzeugt), läßt sich dadurch begegnen, daß man der äußeren Fläche eine zu einem großen Halbmesser gehörige Krümmung gibt, weil dann die von ihr

gegen das Auge reflektirten Strahlen dieses in Richtungen treffen, bei welchen sie sich nicht auf der Netzhaut vereinigen können. Wenn man sich wegen großer Empfindlichkeit der Augen blauer Brillen bedient (weil blaues Licht das Auge weniger reizt als weißes), so sollen es isochromatische, d. h. solche sein, bei welchen die eigentliche Linse aus weißem Glase besteht, an der einen Fläche aber mit einer dünnen, nach Art eines Uhrglases überall gleich dicken Schale aus blauem Glase mittelst eines durchsichtigen Kittes vereinigt ist, weil, wenn die Linse selbst aus blauem Glase besteht, die ungleich dunkle Färbung an den verschieden dicken Stellen derselben dem Auge schädlich ist. Ganz Gleiches gilt für grüne Brillen. Jedes Brillenglas soll immer möglichst nahe und so ans Auge gebracht werden, daß die verlängerten optischen Axen beider (des Glases und des Auges) zusammenfallen, damit das Auge von dem Glase gedeckt wird und nicht darüber hinaussehen kann, ferner nur Strahlen empfängt, die nahe an der Axe des Glases durchgehen, und für welche die der Deutlichkeit des Bildes widrige Abweichung wegen der Kugelgestalt und Farbenzerstreuung des Brillenglases verschwindend klein ist. Das Auge soll also immer so genau wie möglich durch die Mitte des Glases sehen, vorausgesetzt, daß in dem Mittelpunkte der Figur des Glases auch dessen optischer Mittelpunkt liegt. Da es nun, indem man den ursprünglich kreisrunden Glaslinsen die gefälligere ovale Form gibt, leicht geschehen kann, daß vom Rande der Linse auf der einen Seite mehr weggeschliffen wird, als auf der andern, wo dann der optische Mittelpunkt außer dem Mittelpunkt der Figur zu liegen kommt, so ist in Bezug auf diesen Umstand beim Gebrauch ovaler Brillen, wenn sie nicht aus verläßlichen Händen bezogen werden, immer Vorsicht nöthig. Kommt man in die Nothwendigkeit, Brillen anzuwenden, und letzteres soll immer geschehen, sobald man die Gegenstände in gewöhnlicher Entfernung und Beleuchtung durchaus nicht deutlich sieht, so mache man den Anfang immer mit den schwächsten, d. i. die größten Brennweiten besitzenden Gläsern, durch die man noch deutlich sieht. Man nennt solche Gläser mit großen Brennweiten Conservationsbrillen, welche Benennung sie, überhaupt aber auch alle dem Grade der Kurz- oder Weitsichtigkeit des Auges genau anpassenden Gläser in so ferne verdienen, als durch ihren Gebrauch die besagten abnormen Zustände bezüglich der Sehweite gewiß nicht (so wie dies durch unnöthig schärfere, mit kürzeren Brennweiten versehene Gläser geschieht) vermehrt werden. Beim Auswählen der Brille, wobei in der Regel untersucht wird, mit welchen schwächsten Gläsern man gewöhnliche, mäßig beleuchtete Schrift in der Sehweite eines gesunden Auges mit Leichtigkeit liest, ist man meistens genöthigt, mehrere Brillen verschiedener Schärfe nach einander zu probieren, bis sich die passendste findet. Hiebei dürfen die Proben mit den einzelnen Brillen nicht schnell nach einander folgen, sondern es muß jedes Mal, bevor man den Versuch mit einer zweiten, dritten Brille u. s. w. macht, oder mindestens immer nach dem zweiten Versuche dem Auge einige Ruhe gegönnt werden, damit es sich vorher von dem abnormen Zustande, in welchen es durch die Anstrengung beim Sehen mit den unpassenden Brillen versetzt wurde, wieder erhole. Der Gebrauch eines Brillenglases nur für Ein Auge ist nachtheilig, weil dadurch jederzeit nur dieses Auge angestrengt wird und hieraus für beide Augen ungleiche Sehweiten entstehen.

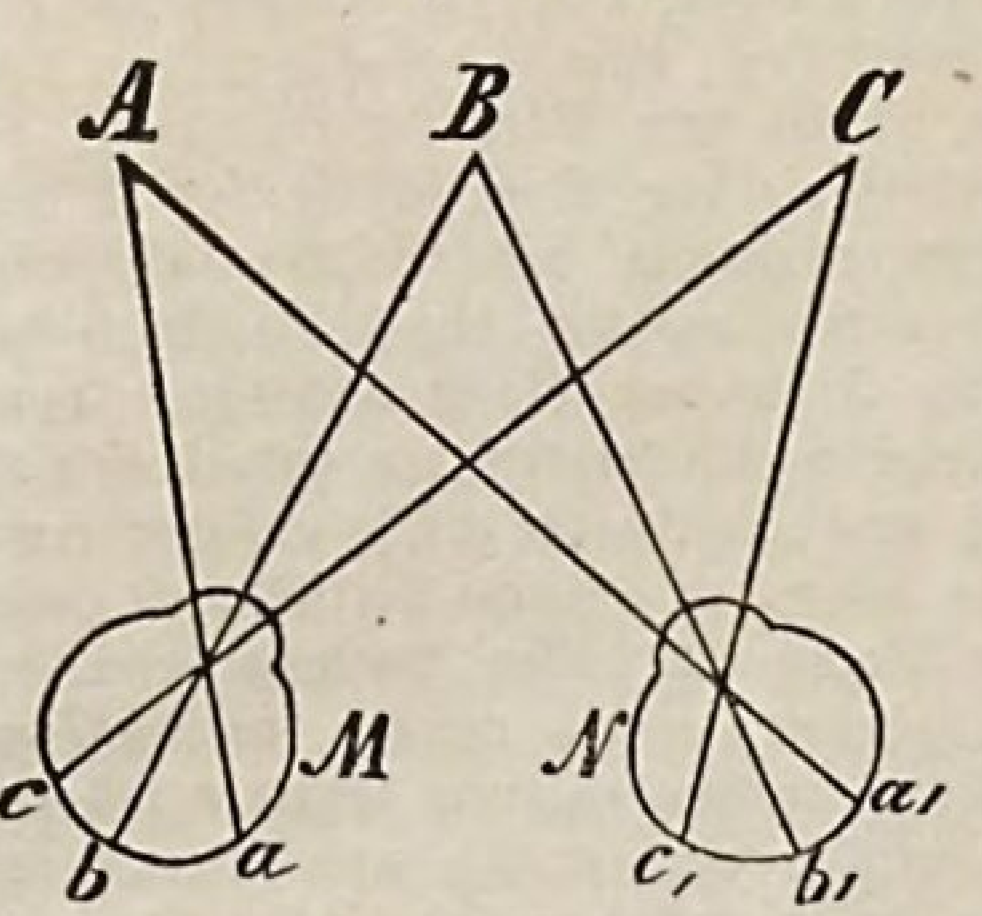
324. Sehen mit beiden Augen. Die Ursache, warum man einen Gegenstand, nach welchen hin gleichzeitig beide Augen gerichtet sind, (so daß ihre Axen in demselben zusammentreffen) einfach sieht, obgleich von ihm zwei Bilder, auf jeder Netzhaut eines, entstehen, liegt darin, daß jedes der Bilder auf eine gleiche Stelle, nämlich auf die Mitte der Netzhaut fällt, die Eindrücke auf die Netzhaut in beiden Augen also vollkommen identisch sind, und in der Empfindung nicht gesondert hervortreten können. So oft diese Identität fehlt, weil die zwei Bilder auf ungleiche, nicht korrespondirende Stellen der Netzhäute fallen, sieht man einen und denselben Gegenstand doppelt. So erscheint, während man einen Gegenstand **A** (Fig. 637) mit beiden Augen **M**, **N** so fixirt, daß man ihn deutlich sieht, jeder Gegenstand **B**, der sich vor demselben so wie jeder Gegenstand **C**, der sich hinter demselben befindet und überhaupt gleichzeitig wahrgenommen wird, immer doppelt, weil, während die Augenaxen nach **A** gerichtet sind und die Bilder **a**, a_1 von **A** auf

Fig. 637.



die Mitten der Netzhäute fallen, sowohl die Bilder b, b_1 von B, als die Bilder c, c_1 von C auf nicht korrespondirende Netzhautstellen treffen, indem immer das eine (b oder c_1) links, das andere (c oder b_1) rechts von der Mitte der Netzhaut liegt. Uebrigens ist es zum Einfachsehen mit beiden Augen nicht nothwendig, daß in jedem Auge das Bild gerade auf die Mitte der Netzhaut fällt: denn sonst wäre es nicht möglich, mehrere, ja in ganzen Reihen neben einander befindliche Gegenstände,

Fig. 638.

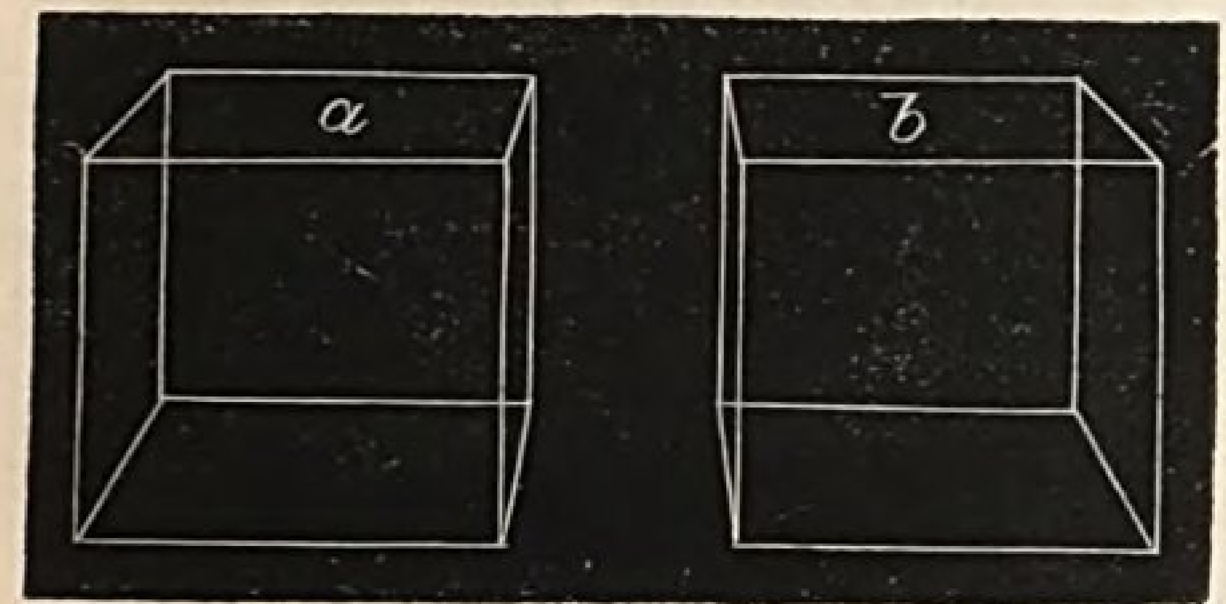


A, B, C . . . (Fig. 638) gleichzeitig mit beiden Augen einfach zu sehen, wie dies doch der Fall ist, und was daher kommt, daß von jedem solchen Gegenstande die Bilder (a und a_1, b und b_1 oder c und c_1), wenn sie nicht auf die Mitte der Netzhaut fallen, immer beide entweder rechts oder beide links von dieser Mitte und auf ganz korrespondirenden Netzhautstellen entstehen. Die Ungleichheit der Netzhautstellen — auf welche in beiden Augen die zwei Bilder eines und desselben Gegenstandes fallen, wenn man, während das eine Auge auf diesen gerichtet ist, das andere mittelst des Fingers seitwärts drückt (so daß seine Axe eine andere Richtung erhält als nach den Gegenstand hin) — ist auch einzig und allein die Ursache des in diesem Falle immer stattfindenden Doppeltsehens.

Das Aufrechtsehen der Gegenstände und das Erscheinen derselben außer dem Auge, obgleich ihre Bilder im Innern des Auges entstehen und verkehrt sind, erklärt sich vollständig und am einleuchtendsten aus der übrigens ganz natürlichen Annahme, daß durch die Sehnerven mit jedem Eindrucke auf die Netzhaut zugleich auch die Richtung, nach der er stattfindet, zu unserem Bewußtsein gelangt und wir dann die Wahrnehmung in dieser nämlichen Richtung nach außen versetzen. Demnach sieht man den untersten Punkt a_1 des Netzhautbildes a_1 b_1 (der früheren Figur 634) zu oberst und den obersten Punkt b_1 zu unterst, also den Gegenstand a b in seiner aufrechten Lage, weil die von a b ins Auge gelangenden Strahlen in a_1 nach der Richtung von oben nach unten und in b_1 nach der Richtung von unten nach oben auf die Netzhaut einwirken und man nicht blos diese Einwirkungen, sondern auch, nach welchen Richtungen sie erfolgen, empfindet.

Wird ein Gegenstand von solcher Entfernung betrachtet, daß die auf denselben gerichteten Sehaxen beider Augen nahe parallel laufen, so nimmt jedes Auge eine ganz gleiche perspektivische Ansicht dieses Gegenstandes wahr; der Anblick mit beiden Augen zugleich ist daher genau derselbe, wie mit jedem einzelnen Auge für sich. In einem solchen Falle findet in der Gesichtswahrnehmung eines Objectes, das über eine Fläche erhaben (ein Relief) ist, und einer perspektivischen Zeichnung desselben auf einer ebenen Fläche kein Unterschied statt. Sobald aber der Gegenstand den Augen so nahe ist, daß, um ihn deutlich zu sehen, die Augenaxen convergiren müssen; so ist die objective Erscheinung desselben für jedes der beiden Augen nicht mehr gleich. Jedes Auge nimmt eine andere perspektivische Ansicht des Gegenstandes wahr, und diese Verschiedenheit wächst mit der Convergenz der Sehaxen. So erhält z. B. von einem in mäßiger Entfernung (von etwa 7″) vor die Augen gestellten Würfel, den man bei unbewegt bleibendem Kopfe abwechselnd mit jedem Auge (während das andere geschlossen ist) betrachtet, das rechte Auge die perspektivische Ansicht a und das linke die Ansicht b (Fig. 639); denn jedes Object in Relief wird, wenn man es mit jedem Auge für sich ansieht, von zwei um die gegenseitige Entfernung beider Augen auseinanderliegenden Standpunkten aus betrachtet. Es nimmt daher die Seele ein Object von

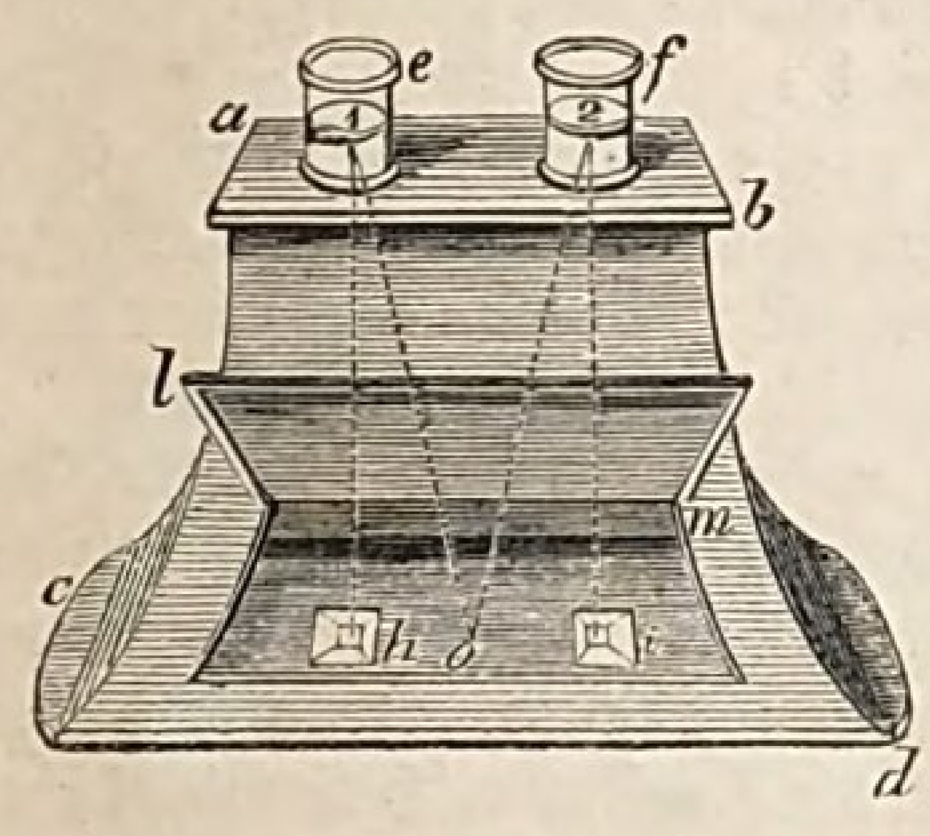
Fig. 639.



3 Dimensionen (einen Körper) immer mittelst zwei verschiedener Netzhautbilder wahr, und es leuchtet ein, daß, wenn anstatt eines solchen Objectes selbst, dessen Projektionen auf eine ebene Fläche genau so gezeichnet, wie selbe an den Stellen, wo sie den zwei Augen, jedem für sich, erscheinen, beiden Augen gleichzeitig dargeboten werden ... (†), man an der Kreuzungsstelle beider Seharen eine Figur von drei Dimensionen, das genaue Gegenstück des betrachteten Objectes (einen Körper) wahrnehmen werde. Dieses wird dargethan durch die überraschende Wirkung des von Wheatstone erdachten Stereoskopes.

Es gibt katoptrische (oder Spiegel-) und dioptrische (oder Linsen-) Stereoskope. Das neueste und beste der letzteren Art ist durch Fig. 640 anschaulich gemacht. abcd ist ein 4eckiges, von der obern Wand ab nach der ihr parallelen untern cd hin sich erweiterndes hölzernes Kästchen; in ab sind zwei Ocularröhren e, f (ausziehbar) eingesetzt, welche halbe Linsen (die man sich durch Halbirung einer Sammellinse nach der Richtung ihrer Axe entstanden denken kann) enthalten, so daß die scharfen Ränder einander zugewendet sind. Die Seitenwände haben ganz am Boden cd hinlaufende Schlitze, durch welche sich von der einen Seite her die zwei durch die Halblinse 1, 2 zu betrachtenden und in der oben unter (†) angegebenen Weise entworfenen Projectionen eines Gegenstandes einschieben lassen (in der Figur sind h, i solche Projectionen einer geraden, 4seitigen, abgestutzten Pyramide). lm ist ein Deckel, womit eine in der Vorderwand des Kästchens, wieder zunächst an dem Boden vorhandene und zur Beleuchtung der eingeschobenen Bilder dienende Oeffnung geschlossen werden kann. Die Fläche, die der Deckel, wenn er geschlossen ist, nach innen kehrt, ist mit einem Ueberzuge von Zinn oder Spiegelglas versehen, damit auch dieser bei gehöriger Neigung des Deckels den besagten Bildern Licht zuwirft. Diaphane (durchsichtige) Bilder erhalten die nöthige Beleuchtung dadurch, daß der Boden cd, so weit diese Bilder im Kästchen reichen, ausgeschnitten ist und man den Boden mit den eingeschobenen Bildern den Wolken zukehrt. Daß der Deckel lm hierbei geschlossen bleibt, versteht sich von selbst. Schaut man nun gleichzeitig mit beiden Augen durch die Halblinsen 1, 2 die betreffenden zwei Bilder an, so sieht jedes Auge das ihm gegenüber liegende Bild durch den Rand der Halblinse und zu Folge Brechung in dieser so, daß beide Bilder (h, i in o) coincidiren und man auf die täuschendste Art den Körper in Relief erblickt, von welchem sie nur verschiedene Projektionen sind. Lichtbilder, vorzüglich solche auf Glas (und natürlich eigens gemäß (†) für das Stereoskop gemacht) erzeugen die größte Täuschung; man meint wirklich ganz frei und im Relief da stehende Körper zu sehen.

Fig. 640.



325. Die Entfernung eines gesehenen Gegenstandes vom Auge. Optischer und scheinbarer Ort der gesehenen Gegenstände. Die erstere wird nicht unmittelbar empfunden, sondern immer erst nach Empfindungen und Umständen beurtheilt, welche sich mit derselben ändern. Die wichtigste Rolle spielt in dieser Beziehung der Winkel, unter welchem die beiden nach einem und demselben Punkt des betrachteten Gegenstandes gerichteten Augenaxen (**320**) gegen einander geneigt sind. Dieser Winkel ist desto größer, es kostet daher desto mehr Muskelanstrengung, um den Augapfeln die zur besagten Augenaxen-Neigung erforderliche Richtung zu geben, je näher der Gegenstand dem Auge ist, und nach dem Grade dieser Anstrengung schließen wir auf die Entfernung.

Daß aber der Augenaxen-Winkel bei Bestimmung unseres Urtheiles über die Entfernung wirklich eine so wichtige Rolle spiele, beweist die bekannte Unsicherheit dieses Urtheils, so oft die Betrachtung des betreffenden Gegenstandes nur mit Einem Auge geschieht. Hängt man einen kleinen Ring an einem Faden auf und stellt sich so, daß man wohl den Ring, nicht aber seine

Oeffnung sieht, so wird man mit dem vordern rechtwinklig umgebogenen Ende eines einige Fuß langen Stabes immer sehr leicht in die Oeffnung des Ringes hineintreffen, wenn man nach diesem mit beiden Augen hinsieht, hingegen wird dieses Einschieben des Stabendes in die Ringöffnung nur sehr selten gelingen, wenn man das eine Auge schließt und den Ring bloß mit dem andern betrachtet; man wird in diesem Falle, weil sich die Entfernung des Auges nicht richtig beurtheilen läßt, mit dem Stabende meistens entweder vor oder hinter dem Ringe vorbeifahren.

Bei Gegenständen von großen Entfernungen hört der Augenaxenwinkel auf, Beurtheilungsmittel dieser letzteren zu sein (weil da die nach dem Gegenstand gerichteten Augenaxen nahe parallel sind, dieser Winkel also verschwindend klein ist), und wir können dann die Entfernung nur nach andern mit ihr im Zusammenhange stehenden Umständen beurtheilen. Solche sind:

1. Die Helligkeit. Da der Erfahrung gemäß die Helligkeit eines Gegenstandes unter sonst gleichen Verhältnissen mit seiner Entfernung abnimmt, so halten wir einen Gegenstand für desto näher, je heller (stärker erleuchtet) er erscheint. 2. Die scheinbare Größe. Je kleiner uns ein Gegenstand im Verhältniß zu seiner uns bekannten wirklichen Größe erscheint, für desto weiter entfernt halten wir ihn (unser Urtheil auf die Thatsache gründend, daß der Gesichtswinkel mit der Entfernung abnimmt). 3. Die Menge der zwischen dem Auge und dem betrachteten Objecte liegenden Gegenstände. Wir schließen: je größer diese Menge ist, desto weiter muß das Object von uns abstehen. 4. Die Lage des Gegenstandes gegen Dinge von bekannter Entfernung.

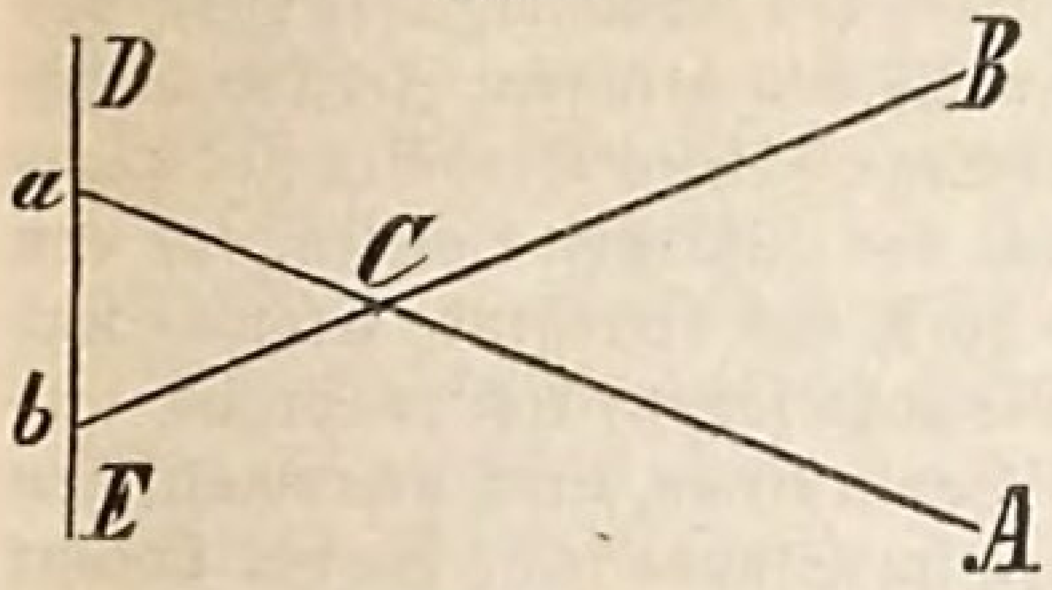
Je mehrere dieser Umstände bei Bestimmung unseres Urtheils über die Entfernung vereinigt wirken, desto richtiger fällt dasselbe aus. Bei nahen Gegenständen helfen sie meistens alle zusammen, und deswegen sind wir auch die Entfernungen derselben mit großer Sicherheit zu beurtheilen im Stande. Je größer hingegen die Entfernung ist, desto mehr verlassen uns die erwähnten Hilfsmittel ihrer Beurtheilung und desto unsicherer wird diese, bis endlich bei Entfernungen, die eine gewisse Grenze überschreiten, nichts übrig bleibt, worauf das Urtheil gegründet werden könnte, weswegen wir alle außerhalb dieser Grenze gelegenen Objecte für gleichweit entfernt zu halten genöthiget sind.

Beispiele zur Erläuterung vorstehender Punkte. Ad 1. Weiße Gebäude, von der Sonne beschienene oder mit Schnee bedeckte Berge erscheinen näher, in Nebel gehüllte und dadurch verdunkelte Gegenstände entfernter, und mit weißen Wänden versehene Zimmer kleiner als sie wirklich sind. Die helleren Partien auf ebener Fläche ausgeführter Zeichnungen oder Gemälde hält man für weniger entfernt als die dunkler gehaltenen. (Verschiedene Beleuchtung als Hilfsmittel in der Perspektive.) Ad 2. Die Sonne und der Mond erscheinen uns gleichweit entfernt, weil wir ihre wahre Größe nicht kennen, und Berge halten wir für näher als sie sind, weil wir ihre wirkliche Größe zu gering angeschlagen und ihre Entfernung nur nach dem großen Gesichtswinkel schätzen, unter welchem sie uns erscheinen. Ad 3. Ein in einer weiten Ebene vereinzelt stehendes Gebäude erscheint näher, als wenn zwischen ihm und dem Auge andere Gebäude oder wohl gar Dörfer u. s. w. gelegen sind, und entfernter, als wenn die zwischen liegenden Objecte und Räume durch irgend einen Gegenstand gedeckt werden; zur Nachtzeit halten wir entferntes Feuer für viel näher, weil wir die zwischen demselben und dem Auge befindlichen Gegenstände nicht sehen können (wohl auch wegen der durch den Contrast erhöhten Stärke des Lichtes); wenn die Sonne am Horizonte steht (auf- oder untergeht), erscheint sie wegen der großen Menge zwischenliegender Gegenstände entfernter, als wenn sie sich über den Horizont erhoben hat, wo dann keine solchen zwischenliegenden Gegenstände vorhanden sind.

Die Größe, unter welcher die Entfernung eines Gegenstandes von einem andern gleichzeitig gesehenen Gegenstande erscheint, wird bloß durch den Winkel bestimmt, welchen die zu den beiden Gegenständen gehörigen Richtungslinien (die geraden Linien, welche die besagten Gegenstände mit den correspondirenden Bildern auf der Netzhaut verbinden) im Auge bilden. Deswegen lassen sich bei Objecten, die in der Richtung einer Augenaxe liegen, die Entfernungen von einander durchaus nicht beurtheilen.

Durch die Einrichtung des Auges und die Gesetze des Sehens wird auch das bedingt, was man den optischen und den scheinbaren Ort des gesehenen Gegenstandes nennt. Unter ersterem versteht man denjenigen Ort einer hinter einem gesehenen Objecte gelegenen Fläche, auf welchen hin man das letztere projicirt. Bedeutet **C** (Fig. 641) den gesehenen Gegenstand, **DE** die hinter ihm gelegene Fläche und **A** das Auge, so ist **a** der optische Ort des Gegenstandes **C**. Verändert das Auge seinen Platz und kommt z. B. nach **B**, so ist dann **b** der optische Ort von **C** und der Abstand **ab** der Orte **a** und **b** von einander heißt die Parallaxe. Kann das Auge die Entfernung der Fläche (**DE**) vom Gegenstande (**C**) nicht wahrnehmen, so scheint ihm dieser in der Fläche selbst zu liegen, der optische Ort wird dadurch zum scheinbaren und es findet so eine sogenannte optische oder Gesichts-Täuschung statt. Auf diese Weise versetzen wir die Gestirne alle auf das hohle Himmelsgewölbe. Der scheinbare Ort eines Gegenstandes ist überhaupt derjenige, wo sich dieser nicht wirklich befindet, sondern wo er oder sein Bild sich bloß zu befinden scheint. So ist der Ort, wo wir in einem Planspiegel einen vor demselben befindlichen Gegenstand sehen, ein scheinbarer.

Fig. 641.



326. Die Wahrnehmung der Bewegung der Gegenstände wird bedingt durch die Bewegung ihrer Bilder auf der Netzhaut; eine solche findet aber Statt, wenn der Gegenstand allein, oder wenn nur das Auge seinen Ort ändert oder wenn beide zugleich sich bewegen. Deswegen wird es in vielen Fällen, insbesondere, wo der Beobachter seiner eigenen Bewegung sich nicht bewußt ist, sehr schwer, ja unmöglich sein, bloß nach dem Gesichtseindrucke zu entscheiden, welcher Körper eigentlich der bewegte sei, und es entstehen so viele optische Täuschungen. Nach Schmidt ist eine Bewegung nur dann wahrnehmbar, wenn der binnen einer Sekunde zurückgelegte Weg in der Sehweite nicht unter einem kleineren Winkel als $2\frac{1}{4}$ Sekunden erscheint.

Optische Täuschungen der eben erwähnten Art sind: Die Erde scheint still zu stehen und das hohle Himmelsgewölbe mit den Gestirnen sich um dieselbe zu drehen; sieht man von einer Brücke längere Zeit unverwandt in das unter ihr hinfließende Wasser, so glaubt man sich mit der Brücke stromaufwärts zu bewegen; einem schnell Schiffenden scheinen die am Ufer, und dem auf der Eisenbahn rasch dahin Fahrenden die zur Seite der Bahn befindlichen Gegenstände nach der entgegengesetzten Richtung hin in Bewegung; schüttelt man während steter Betrachtung eines Objectes schnell den Kopf, so sieht man dieses Object zittern. Da, wenn die Bewegung in der Richtung der Augenaxe stattfindet, das Bild des betreffenden Körpers immer auf derselben Stelle der Netzhaut verbleibt, so ist die Bewegung nur aus andern Umständen (z. B. aus der Aenderung der Lage des bewegten Körpers gegen andere außerhalb der Augenaxe gelegenen Gegenstände, aus der Aenderung seiner scheinbaren Größe u. s. w.) zu erkennen.

327. Bestimmung der Brechungsverhältnisse (Brechungsexponenten) der Glasarten und anderer durchsichtiger fester Körper *). Wir wissen aus dem Vorhergehenden, daß die für die optischen Instrumente erforderlichen achromatischen Linsen gewöhnlich durch Vereinigung einer Sammellinse aus Crown- und einer Zerstreuungslinse aus Flintglas erhalten werden und daß der Zweck einer solchen Doppellinse desto vollkommener erreicht wird, je größer die Zerstreuungskraft des Flintglases im Verhältnisse zu jener des Crownglases ist und je weniger die Brechungskräfte beider Gläser in Bezug auf die mittleren Strahlen des Spektrums (**307**) differiren (S. 670). Ferner wurde auf

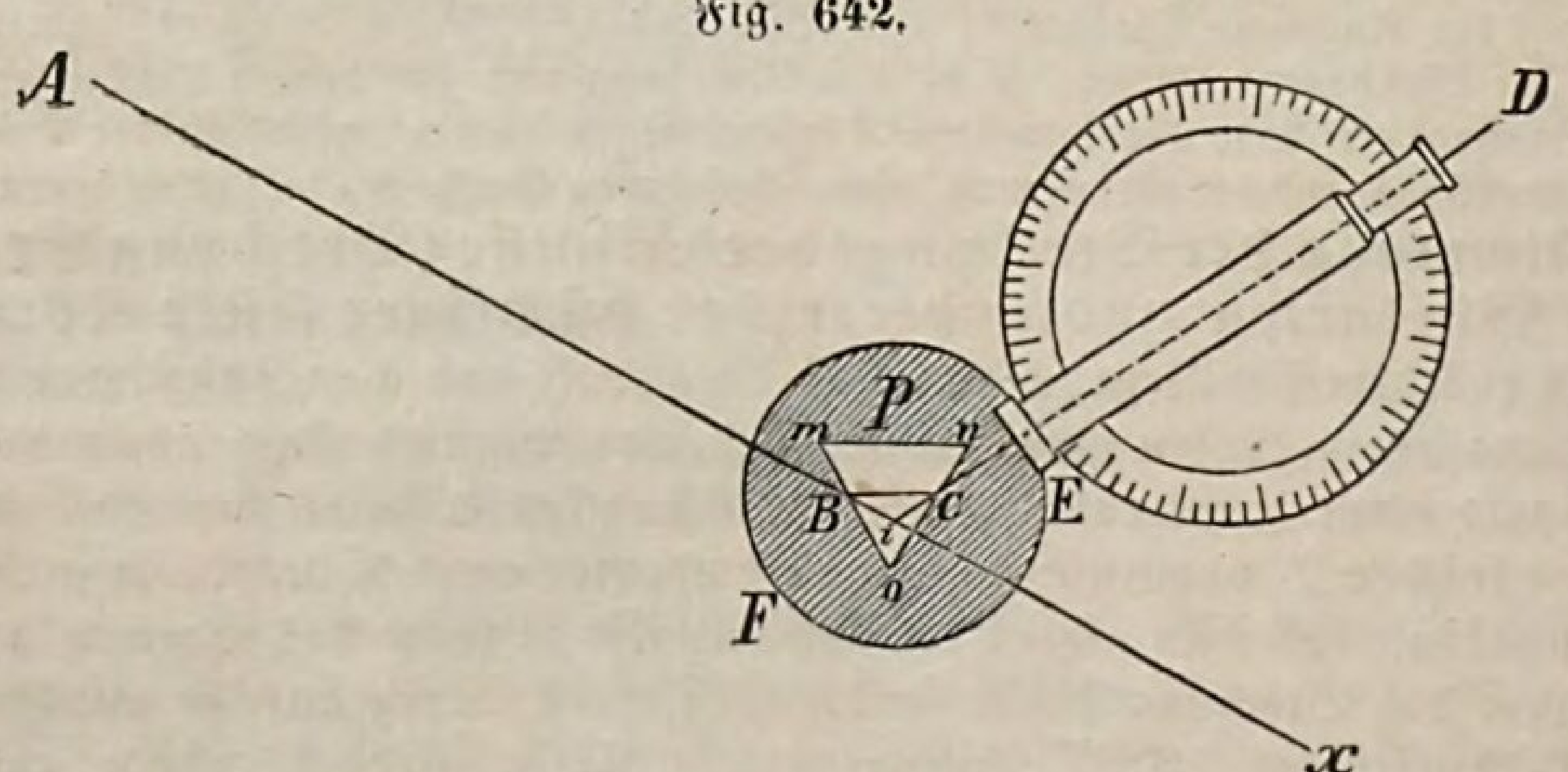
---

*) Die Rechtfertigung, warum erst jetzt von der Bestimmung des Brechungsverhältnisses und darauf folgend von der Bestimmung des Zerstreuungsverhältnisses gehandelt wird, enthält die Anmerkung *) auf S. 675.

S. 671 dargethan, daß eine Crown=Flintglas=Linse achromatisch sei, wenn die Brennweite der zwei in ihr vereinigten Linsen sich gerade wie die Zerstreuungskräfte der beiden Glasarten verhalten und daß für eine derlei Doppellinse von bestimmter Brennweite die Focaldistanz der Sammellinse gefunden werde, wenn man das Zerstreuungsverhältniß beider Glasarten von 1 abzieht und den Rest mit der gegebenen Brennweite der Doppellinse multiplizirt, die Brennweite der Zerstreunngslinse sich aber ergebe, indem man die so gefundene Focal=Distanz des Sammelglases durch das besagte Zerstreuungsverhältniß dividirt. Die Kenntniß des besagten Zerstreuungsverhältnisses setzt aber (wie **307** zeigt, worin der Begriff dieses Verhältnisses gegeben ist) die Kenntniß der Brechungsexponenten für den äußersten violeten, für den äußersten rothen und für den mittleren Strahl des durch das betreffende Crown= und Flintglas zerstreuten (in seine farbigen Bestandtheile aufgelösten) Lichtes voraus, und man muß daher zum Behuf der Berechnung und Construktion einer achromatischen Doppellinse diese Brechungsexponenten zu bestimmen im Stande sein. Ferner kommt in allen Formeln für einfache Linsen, wie wir sie in **301** und **302** aufgestellt haben, der Brechungsexponent (n) der mittleren Strahlen vor; sein Werth muß bekannt sein, wenn aus diesen Formeln die für die Anwendung der Linsen wichtigen Punkte, als da sind: die Brennweite der Linse, die Entfernung des Bildes von der letzteren u. s. w. berechnet werden sollen. Endlich ist das Brechungsverhältniß auch als charakteristisches Kennzeichen der Stoffe von großem Interesse. Wir wollen demnach nun lernen, wie der Brechungsexponent eines Strahles von mittlerem oder irgend einem andern Grade der Brechbarkeit (also der verschieden brechbaren Bestandtheile eines in seine prismatischen Farben zerlegten Strahles) bestimmt wird, und unter den bisher bekannt gewordenen, zu diesem Ziele führenden Methoden, die der Wesenheit nach von Fraunhofer herrührende und eine von Prechtl angegebene auswählen. Erstere, offenbar die vorzüglichste, gewährt eine hohe wissenschaftliche Genauigkeit, letztere steht in dieser Beziehung zwar nach, gibt aber für die Zwecke der praktischen Optik hinreichend genaue Resultate, ohne ein kostspieliges Instrument und besondere theoretische Kenntnisse zu erfordern, wie sie jene Methode voraussetzt und den Praktikern nicht immer zu Disposition stehen.

328. Bestimmung des Brechungsexponenten nach Fraunhofer's Methode. Man schleife aus dem Glase oder der andern festen, durchsichtigen Substanz, um deren Brechungsverhältniß (beim Uebergange des Lichtes aus Luft in diese Substanz) es sich handelt, ein kleines dreiseitiges Prisma mit möglichst ebenen Seitenflächen, leite durch eine vertikale, sehr schmale, aber hohe Spalte **A** (Fig. 642) in einem geschlossenen Fensterladen (am besten mit Hilfe eines Heliostats) einen Lichtstrahl in ein verdunkeltes Zimmer, fange denselben mit der einen Seitenfläche des besagten Prismas (**P**) und nachdem er darin (z. B. von **B** nach **C**) gebrochen worden und an der zweiten Seitenfläche (z. B. in der Richtung **CD**) wieder ausgetreten ist, mit einem Fernrohre **DE** auf. Zu dem Ende wird das Prisma in hinreichend großer Entfernung von der Spalte **A**, und mit der Kante o des brechenden Winkels **mon** dieser letzteren parallel (also vertikal), auf einer in horizontaler Richtung drehbaren Scheibe

Fig. 642.



F festgestellt, welche sich nahe an dem Objective des besagten Fernrohres befindet. Dieses muß um eine vertikale Axe drehbar und mit einem horizontalen eingetheilten Kreise versehen sein, damit die Größe einer vorgenommenen Drehung genau gemessen werden kann. Am besten eignet sich daher das Fernrohr eines Theodolithen (man sehe dessen Beschreibung auf S. 371). Gesetzt, der Strahl AB werde im Prisma P nicht in seine farbigen, ungleich brechbaren Bestandtheile zerlegt, sondern trete bei C wieder als einzelner Strahl (CD) aus . . . (1) und man habe dem Prisma durch entsprechende Drehung der Scheibe F eine solche Stellung gegeben, daß die Winkel, unter welchen der Strahl in das Prisma ein- und aus demselben austritt, um dann durch's Fernrohr ins Auge zu gelangen (der Einfalls- und Austrittswinkel), einander gleich sind . . . (2); so ließe sich der Ablenkungs- (Deviations-) Winkel $Ciz = D$ des Strahles AB, d. i. der Winkel, um welchen dieser Strahl durch das Prisma von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird, bestimmen . . . (3) und dann, wenn noch der brechende Winkel $mon = \psi$ des Prismas bekannt ist (und dieser kann leicht mittelst eines Goniometers [S. 617] gemessen werden), der Brechungsexponent n mittelst der Formel

$$n = \frac{\sin.\left(\frac{D+\psi}{2}\right)}{\sin.\frac{\psi}{2}}, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (165)$$

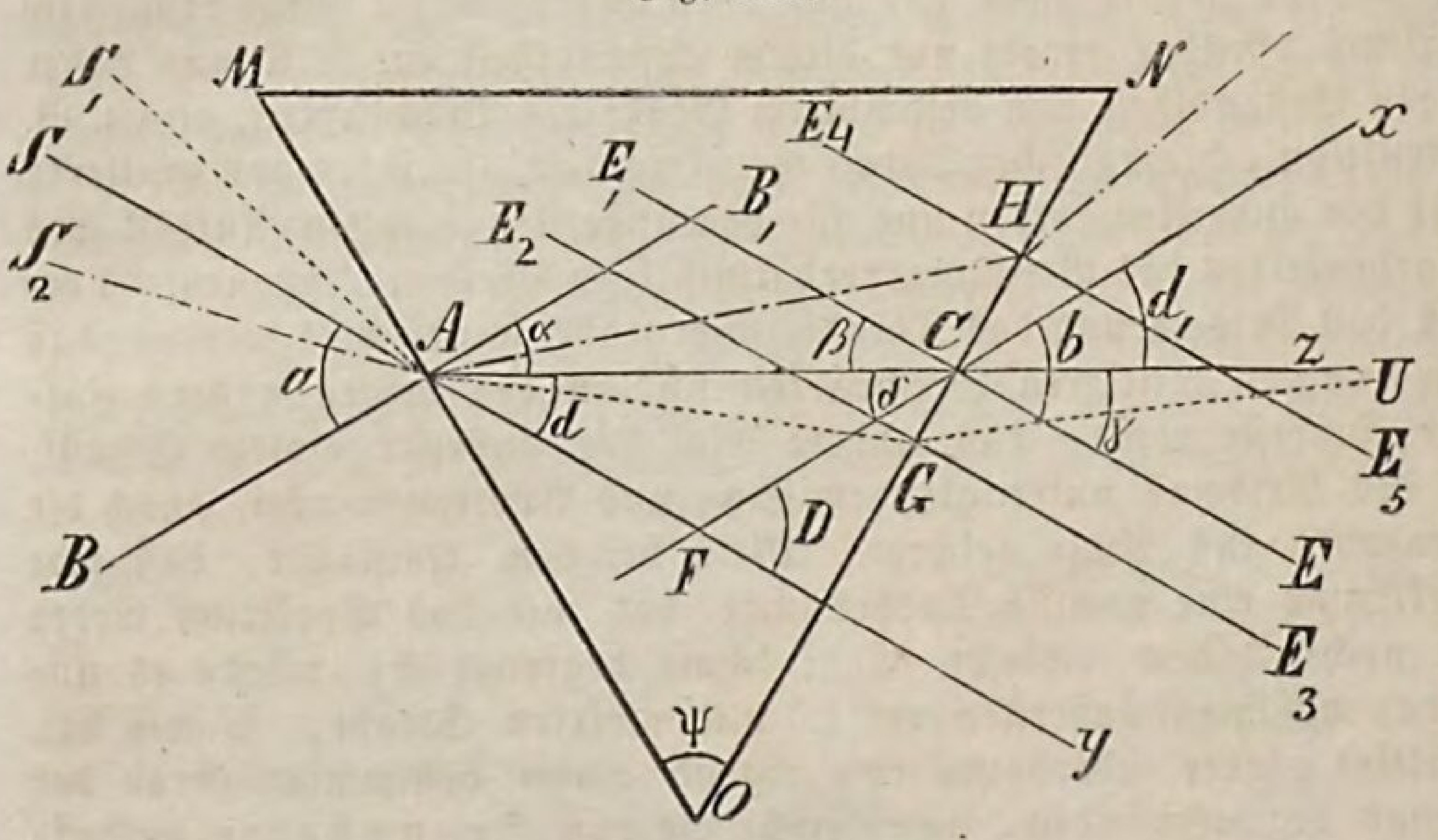
die gleich nachher abgeleitet werden wird, berechnen.

Was die unter (1) gemachte Voraussetzung anbelangt, so wissen wir, daß sie unstatthaft ist, indem jede Brechung von einer Farbenzerstreuung begleitet wird. Dem zu Folge tritt der bei B ins Pisma eintretende weiße Lichtstrahl bei C, in seine farbige Bestandtheile zerlegt, aus, es kann immer nur einer dieser verschieden brechbaren Bestandtheile durch die Mitte des Fernrohrs ins Auge gelangen und es gehört dann das auf oben angedeutetem Wege ermittelte Brechungsverhältniß offenbar gerade nur diesem Bestandtheil an. Will man daher für einen farbigen Bestandtheil von bestimmtem Grade der Brechbarkeit, also z. B. wie es die Construktion achromatischer Dopellinsen erfordert, für jenen von mittlerer Brechbarkeit, für den äußersten rothen und für den äußersten violeten Antheil des prismatischen Farbenbildes das Brechungsverhältniß (den Brechungsexponenten) ermitteln, so muß das Prisma und das Theodolithfernrohr so gerichtet werden, daß ein Strahl der besagten mittleren Brechbarkeit und in den beiden andern Fällen einmal der äußerste rothe, das andere Mal der äußerste violete Strahl, jeder bezüglich des Prismas unter gleichem Ein- und Austrittswinkel, durch die Mitte des Fernrohrs ins Auge gelangt. Allein bei dem Umstande, daß jede Farbe des Spektrums eine gewisse Ausdehnung hat und das Spektrum weder an dem rothen noch an dem violeten Ende scharf begrenzt ist, würde es unmöglich sein, den besagten äußersten rothen und violeten Strahl, so wie den Strahl von mittlerer oder überhaupt von irgend einem bestimmten Grad der Brechbarkeit genau herauszufinden, wenn nicht die von Fraunhofer entdeckten dunklen Linien (S. 649) im Spektrum existirten. Da das Farbenbild aber fast in allen seinen Theilen solche Linien enthält und diese darin für eine und dieselbe Beschaffenheit des (weißen, dem Prisma zugeleiteten) Lichtes immer ihre bestimmte Stelle beibehalten (S. 649); da es ferner Behufs Bestimmung und Vergleichung der Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse verschiedener Glassorten oder anderer durchsichtiger fester Körper immer nur darauf ankommt, daß dies bei allen diesen Stoffen stets für den nämlichen der mittleren Strahlen des Spektrums und für die nämlichen der äußersten rothen und violeten Strahlen geschehe; so darf man das Prisma und das Theodolithfernrohr nur so richten,

daß in der Mitte des letzteren (natürlich unter Erfüllung der oben unter (2) angegebenen Bedingung) immer eine und dieselbe dunkle Linie erscheint und zwar, jenachdem es sich um die Brechungsverhältnisse der besagten mittleren oder der äußersten rothen oder violeten Strahlen handelt, eine bestimmte dunkle Linie, die gegen die Mitte oder die gegen das rothe oder violete Ende des Farbenbildes hin gelegen ist. Man hat dann an den diesen Linien zunächst eintreffenden Strahlen solche, die bestimmte Grade der Brechbarkeit besitzen und die man bei jeder andern Glassorte oder bei jedem andern bezüglich seines Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisses zu untersuchenden Körper immer genau wieder auffinden kann. Kehren wir nun zu der oben aufgestellten Formel (165) und früher noch zu den ihr unter (2) und (3) vorausgeschickten Sätzen zurück. Wir ersehen aus dem dort und dem darauffolgend Gesagten, daß man, um nach dieser Formel für einen Strahl bestimmter Brechbarkeit den Brechungsexponenten zu erhalten, den Ablenkungswinkel dieses Strahles zu bestimmen und zu diesem Behufe das Prisma und Fernrohr so anzuordnen habe, daß dieser Strahl durch die Mitte des letzteren ins Auge kommt, nachdem er ersteres unter g l e i c h e m Einfalls- und Austrittswinkel passirt hat. Dies wird aber immer erzielt, wenn man das Prisma in horizontaler Richtung (also um seine vertikal gestellte Axe) so lange nach einer oder der andern Seite dreht, bis die durch dasselbe bewirkte Ablenkung des das Fernrohr passirenden Strahles von seiner ursprünglichen Richtung die geringste (ein Minimum) ist . . . (I). Es ist dies zugleich die einzige Stellung des Prismas, bei welcher es gestattet ist, dasselbe etwas vor oder zurück zu drehen, ohne daß die besagte Ablenkung (die Richtung, in der man die betreffende dunkle Linie sieht) sich merklich ändert . . . (II). Die Richtigkeit des Satzes (II) ergibt sich aber aus Folgendem.

Gesetzt der (weiße) Strahl **S A** (Fig. 643) falle auf das Prisma **M O N** so auf, daß von den farbigen Bestandtheilen, in welche er im Prisma zerlegt wird,

Fig. 643.



einer (**AC**) von bestimmtem Grade der Brechbarkeit unter einem dem Einfallswinkel **SAB** oder a gleichem Winkel **ECx** oder b austritt, also a = b ist . . . (1; so sind auch die Winkel α und β gleich, und es ist ferner $\angle d = \angle d_1$, d. h. die Ablenkungen, die der Strahl bei **A** und **C** von den Einfallsrichtungen **Sy** und **Az** erleidet, betragen gleichviel. Denn, den Brechungsgesetzen (Seite 631) gemäß ist $\frac{\sin. a}{\sin. \alpha} = n$ und $\frac{\sin. \beta}{\sin. b} = \frac{1}{n}$, also $\frac{\sin. a}{\sin. \alpha} = \frac{\sin. b}{\sin. \beta}$, mithin, da nach (1 $a = b$ ist, auch $\sin. \alpha = \sin. \beta$ und $\alpha = \beta$ . . . (2. Ferner hat man wegen $a = b = d_1 + \gamma$ und $a = \alpha + d$ (weil **SAB** und **B_1 Ay** Scheitelwinkel sind) auch $\alpha + d = d_1 + \gamma$ und, da $\alpha = \beta$ und $\beta = \gamma$ (als Scheitelwinkel) ist, so folgt $d = d_1$ . . . (3. Wird der Winkel **xFy**, d. i. die durch die zweifache Brechung bei **A** und **C** bewirkte Totalablenkung des Strahles von seiner ursprünglichen

Richtung **Sy** mit **D** bezeichnet, so hat man $D = d + \delta$ . . . (4 (denn ein äußerer Winkel ist gleich der Summe der zwei inneren entgegengesetzten), daher wegen $\delta = d_1$ (als Scheitelwinkel) und $d_1 = d$ nach (3, auch $D = 2d$ . . . (5. Würde nun der Strahl im Punkte **A** unter einem von a verschiedenen Winkel einfallen gemacht, z. B. in der (punktirten) Richtung $S_1 A$, also unter dem größeren Winkel $S_1 AB$, so würde [gemäß (2) S. 632] auch der zugehörige Brechungswinkel größer werden, mithin die Brechung etwa nach der Richtung **AG** erfolgen; es fiele dann der Strahl auf der Prismafläche **NO** unter einem kleineren Winkel (AGE_2) ein, müßte demnach auch unter einem kleineren Brechungswinkel (UGE_3) als vorher aus dem Prisma austreten, und es würde seine Ablenkung bei **A** abnehmen, bei **G** hingegen wachsen. Bezeichnet m die Größe dieser Abnahme, so wäre $d - m$ die Ablenkung bei **A**. Die Zunahme bei **G** würde aber mehr betragen als m *), so daß die Ablenkung daselbst durch $d + m + n$ ausgedrückt werden könnte, und dann für die Totalablenkung, welche wir mit D_1 bezeichnen wollen, und welche nach (3 der Summe der an beiden Prismaflächen stattfindenden Ablenkungen gleich ist, die Gleichung $D_1 = d - m + d + m + n$ oder $D_1 = 2d + n$ erhalten würde. Ließe man den Strahl in der Richtung $S_2 A$, mithin unter einem kleineren Einfallswinkel als a auffallen, so wäre offenbar die Ablenkung bei **A** größer, z. B. $d + r$, bei **H** hingegen kleiner, z. B. $d - \nu$ als d, die Zunahme (r) am ersteren Punkte betrüge also z. B. um w mehr als die Abnahme (ν) am letzteren, und es wäre also auch in diesem Falle die Totalablenkung $D_2 = 2d + w$ größer als $D = 2d$, d. i. als die Totalablenkung in dem Falle, wo der Strahl unter gleichen Winkeln in das Prisma ein- und aus demselben austritt.

Es ergibt sich nun, bei Berücksichtigung der vorn unter (I) und (II) gemachten Bemerkung von selbst, wie man dem Prisma immer eine solche Stellung geben könne, daß von einem darin zerlegten Strahle ein Theil von bestimmtem Grade der Brechbarkeit unter einem dem Einfallswinkel gleichen Austrittswinkel durch die Mitte des Fernrohrs ins Auge gelangt. Man hat nämlich Prisma und Fernrohr so zu drehen, daß die Totalablenkung des besagten Theiles des Strahles, während derselbe durch die Mitte des Fernrohrs geht, d. i. während jene dunkle Fraunhofer'sche Linie, welche im Spektrum dem Brechbarkeitsgrade dieses Theiles entspricht (als entsprechend angenommen werden kann) vom vertikalen Faden

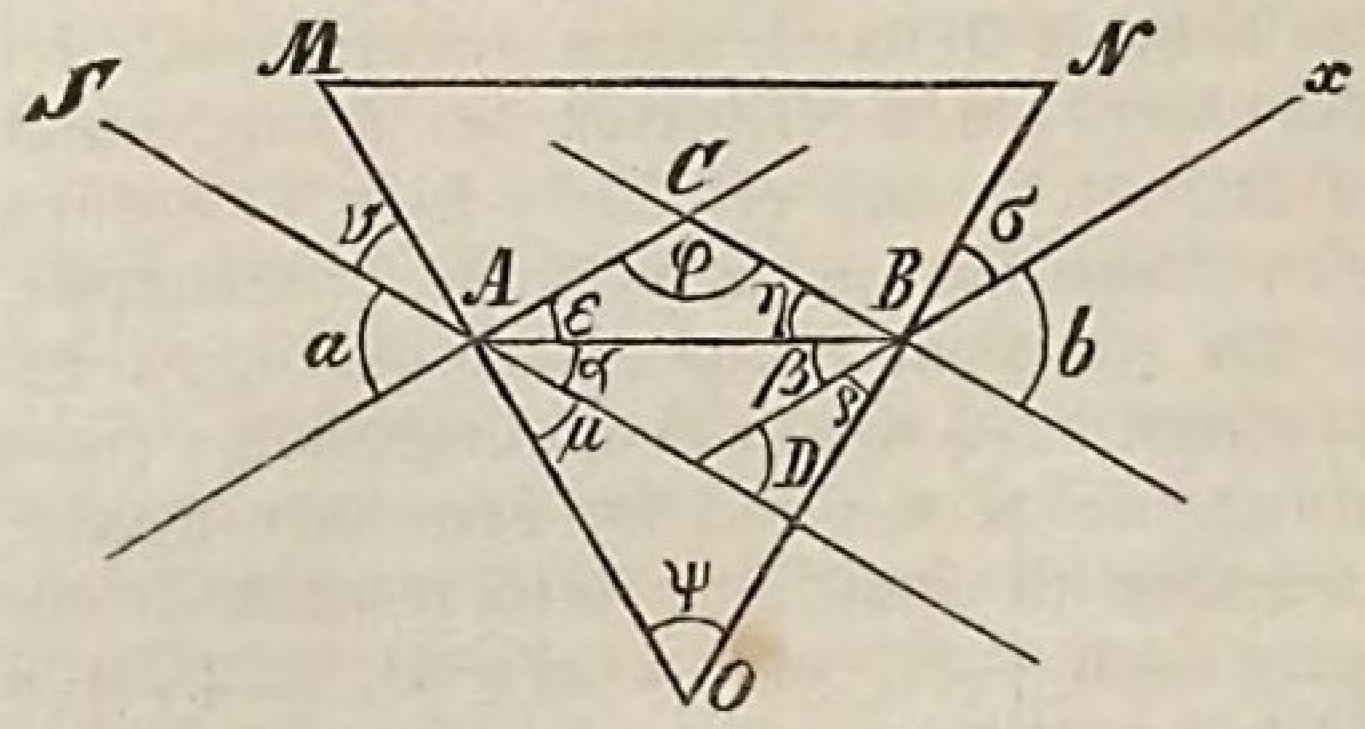
---

*) Es ergibt sich dieß aus der bekannten Relation zwischen dem Brechungsexponenten (n), dem Einfallswinkel (a) und dem Brechungswinkel (α), welche Relation durch die Gleichung $n = \frac{\sin. a}{\sin. \alpha}$ oder $\sin. a = n \sin. \alpha$ dargestellt wird. Denn berechnet man nach dieser Formel bei einem bestimmten Werthe von n (z. B. bei dem Werthe 1·5, welcher beim Uebergang des Lichtes aus Luft in Glas stattfindet) für verschiedene Brechungswinkel die zugehörigen Einfallswinkel und Ablenkungen, so zeigt sich, daß die letzteren in weit größerem Verhältnisse zunehmen, als die Brechungswinkel, und daß bei Vergrößerung des Brechungswinkels um eine gewisse Anzahl Grade die Ablenkung immer um mehr wächst, als sie, wenn der Brechungswinkel um eine gleiche Anzahl Grade vermindert wird, abnimmt. Man sieht dies deutlich aus nachstehender, Pouillet-Müller's Physik entnommenen Tabelle, welche für immer um 10 Grade größere Brechungswinkel (α) die zugehörigen Einfallswinkel (a) und Ablenkungen enthält. Nach ihr ist z. B. bei einem Brechungswinkel von 30° die Ablenkung 18° 40′; bei dem um 10° größeren Brechungswinkel 40° beträgt die Ablenkung um 15° 54′ mehr, bei dem um 10° kleineren Brechungswinkel 20° hingegen nur um 7° 45′ weniger.

α	a	Ablenkung
10	15° 5′	5° 5′
20	30 55	10 55
30	48 40	18 40
40	74 34	34 34.

des Fadenkreuzes im Theodolithfernrohre gedeckt erscheint, ein Minimum wird, man also das Prisma nach einer oder der andern Seite hin etwas aus seiner Stellung herausdrehen kann, ohne daß das Bild der betreffenden Fraunhofe'r'schen Linie seine Lage merklich ändert. Es erübrigt dann nur noch die Bestimmung der Größe dieses Minimums der Totalablenkung, um aus ihr und dem bekannten brechenden Winkel ψ des Prismas den Brechungsexponenten folgendermaßen berechnen zu können. Stellt **SABx** (Fig. 644) den das Prisma unter gleichen Ein- und Austrittswinkeln passirenden Strahl vor, so ist der Winkel $\nu = 90^0 - a$ . . . (6 und der Winkel $D = \alpha + \beta$; da aber $\alpha + \beta = 180^0 - \psi - \mu - \rho$, ferner $\mu = \nu$ und $\rho = \sigma$ sind (als Scheitelwinkel) . . . (7; so folgt, mit Bezug auf (6, $D = 180^0 - \psi - (90^0 - a) - \sigma$ oder $D = 180^0 - \psi - 90^0 + a - \sigma = 90^0 + a - \psi - \sigma$ . . . (8. Nun ist $a + \nu = b + \sigma = 90^0$; mithin wegen der vorausgesetzten Gleichheit der Ein- und Austrittswinkel (a, b) auch $\nu = \sigma$ . . . (9. Es ergibt sich demnach aus (6, (7 und (8 $D = 90^0 + a - \psi - (90^0 - a) = 90^0 + a - \psi - 90^0 + a$ oder $D = 2a - \psi$ und hieraus $a = \frac{D + \psi}{2}$ . . . (10.

Fig. 644.

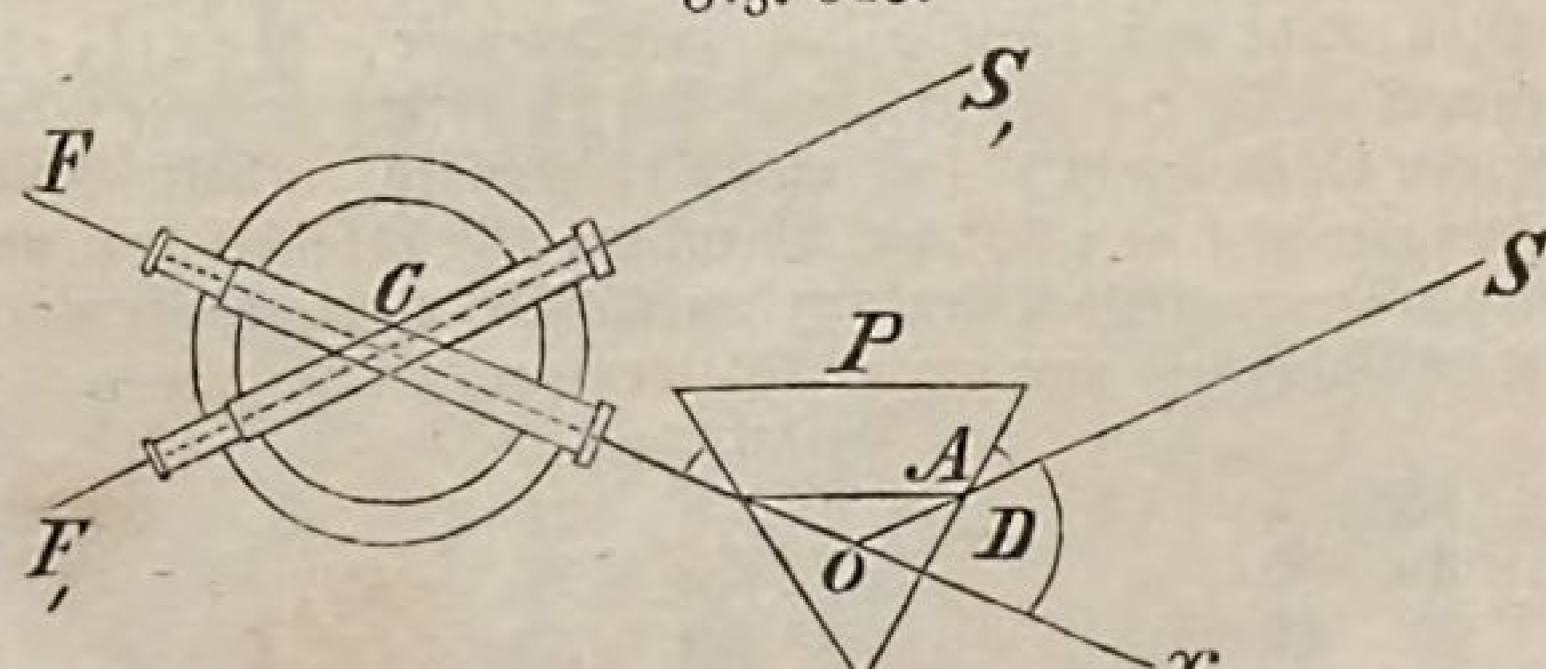


Ferner ist $\psi + \varphi = 180^0$, (denn in dem Vierecke **ACBO** sind alle vier Winkel zusammen $= 360^0$ und jeder der 2 Winkel **CAO** und **CBO** beträgt für sich 90^0), dann $\varphi + \varepsilon + \eta = 180^0$, also $\psi + \varphi = \varphi + \varepsilon + \eta$ und $\psi = \varepsilon + \eta$. Nun folgt aus $\frac{\sin. a}{\sin. \varepsilon} = \frac{\sin. b}{\sin. \eta} = n$, [siehe (2) S. 632], wenn n den Brechungsexponenten bedeutet, und aus der Voraussetzung $a = b$ die Gleichung $\varepsilon = \eta$; man hat also $\psi = 2\varepsilon$ und $\varepsilon = \frac{\psi}{2}$ . . . (11. Aus (10 und (11 endlich folgt $\frac{\sin. a}{\sin. \varepsilon}$, d. i. der Brechungsexponent

$$n = \frac{\sin. \left(\frac{D + \psi}{2}\right)}{\sin. \frac{\psi}{2}} \; . . . (12.$$

Der Werth der Totalablenkung **D** endlich wird am leichtesten gefunden, wenn man anstatt durch die oben (S. 718) erwähnte Spalte im Fensterladen, die nie weit vom Fernrohr entfernt sein kann, von einem in sehr großer Entfernung gelegenen Punkte Licht auf das Prisma z. B. in der Richtung **SA** (Fig. 645) gelangen läßt. Ordnet man nämlich das Fernrohr **F** und Prisma **P** zuerst der Art an, daß man in ersterem das Bild des besagten Visirpunktes bei dem Minimum der Ablenkung, z. B. in der Richtung **Cx** sieht, nimmt hierauf das Prisma vor dem Fernrohr weg, richtet dieses direkt auf den Visirpunkt hin und lies't dann auf dem getheilten Kreise den Winkel S_1 **Cx** ab, welchen die jetzige Richtung $F_1 S_1$ des Fernrohrs mit der vori-

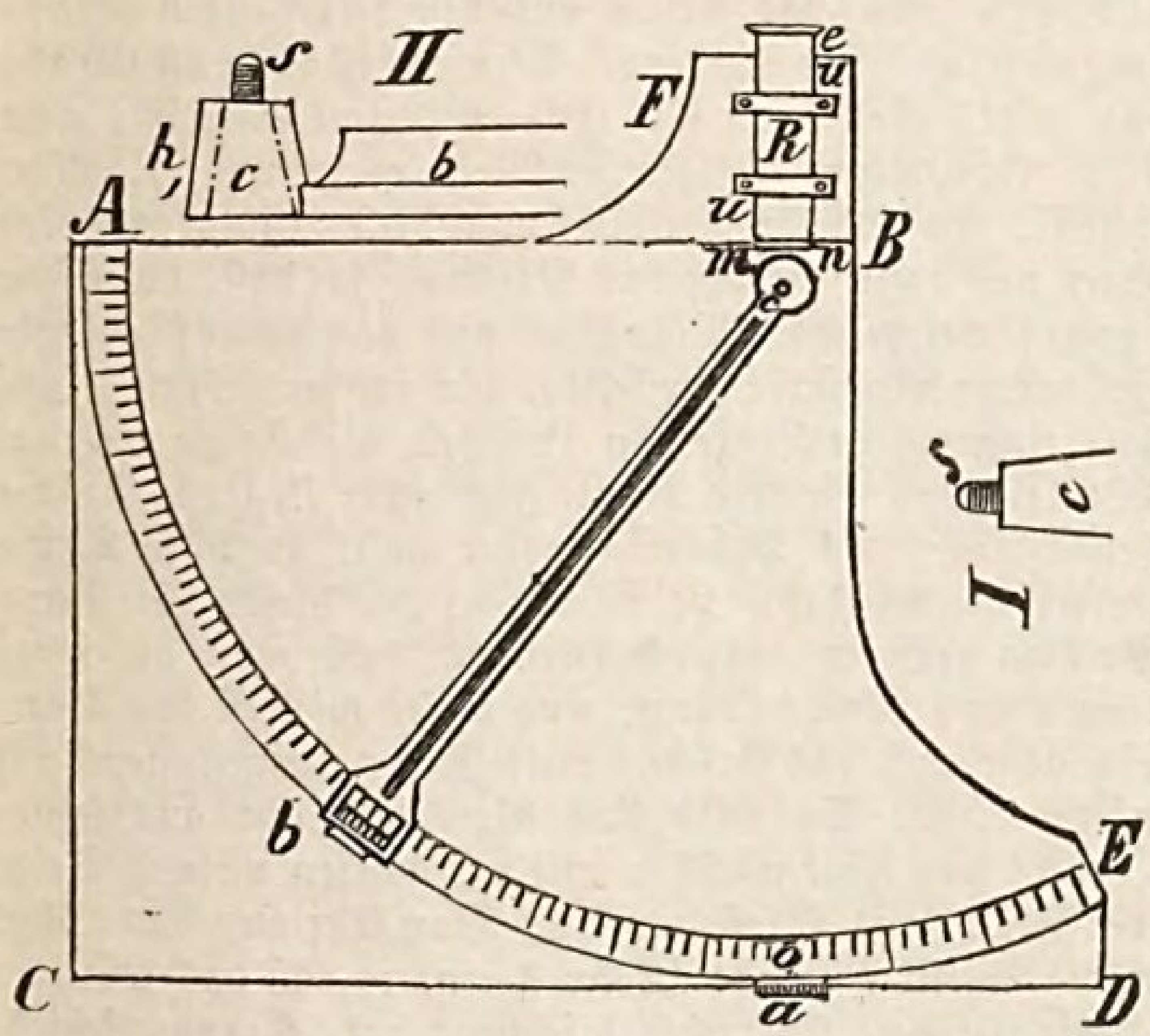
Fig. 645.



gen F x macht; so ist dieser offenbar gleich der Totalablenkung D oder S O x, da wegen der sehr großen Entfernung des Visirpunktes und des nur wenige Zolle betragenden Abstandes der Punkte C und O die Richtungen O S und C S_1 als parallel angenommen werden können, und daher S O x = D und S_1 C x als äußerer und innerer an einer, 2 Parallellinien schneidenden dritten Geraden gelegene Winkel einander gleich sind.

Prechtl's Methode, das Brechungsverhältniß zu bestimmen. Dieselbe setzt nur den Besitz des im Folgenden beschriebenen Instrumentes voraus, welches wenig kostspielig ist, sich leicht anfertigen läßt und von jedem Optiker, ohne daß er besondere Gewandtheit im Rechnen oder andere Geschicklichkeiten zu besitzen braucht, als ihm schon an und für sich eigen sein müssen, gehandhabt werden kann. Wir entnehmen die Beschreibung im Wesentlichen aus Prechtl's praktischer Dioptrik. Die Fig. 646 stellt das Instrument in seiner horizontalen Lage dar, in welcher es zum Gebrauche dient. A B C D ist ein völlig ebenes Bret aus vollkommen trockenem Lindenholz, damit kein Werfen stattfinde. Auf dieses Bret ist der etwa $^1/_{10}$ Zoll dicke und 1 Zoll breite messingene Bogen A E aufgeschraubt, welcher von o angefangen nach A hin in 90° getheilt ist. Im Mittelpunkte dieses Bogens befindet sich ein stählener, etwas konischer, genau runder Zapfen c, welcher oben mit einer Schraube s versehen ist. (Bei I sieht man denselben für sich abgebildet.) Er paßt genau in das Centralloch des Lineals b c, welches aus zwei Streifen starken Messingblechs besteht, wovon der eine in senkrechter Lage mit der Längenkante auf der Fläche des andern fest gelöthet ist, um das Biegen zu verhüten. Das Ende dieses Lineals hat in einem Ausschnitte einen Nonius und an der äußeren Kante

Fig. 646.

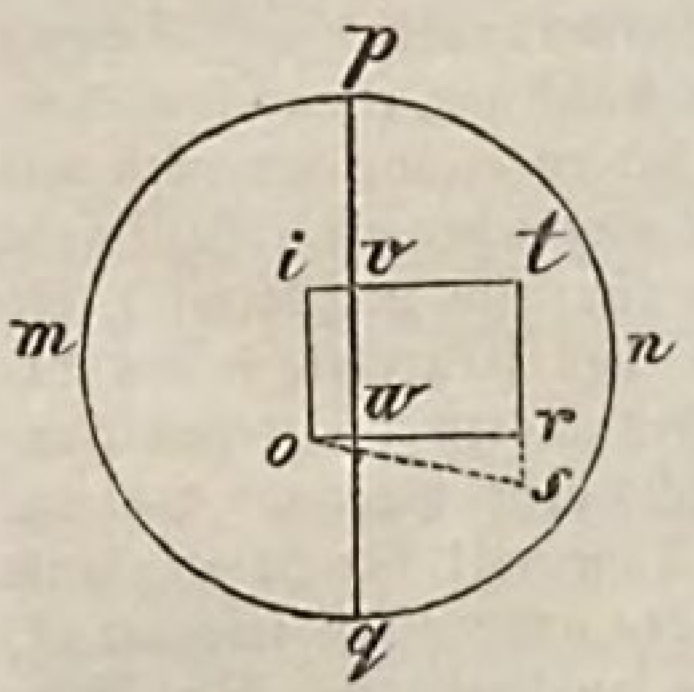


b ist senkrecht ein etwa 2 Zoll hoher Messingstreifen befestigt, auf welchem eine Linie eingerissen ist, die senkrecht auf der Fläche des Bretes und genau über dem Nullpunkte des Nonius steht. An der Stelle a des Bretes ist ein ähnlicher, gleichhoher Messingstreifen angeschraubt, auf welchem sich gleichfalls eine senkrechte, genau über dem Nullpunkte der Theilung des Bogens A E stehende Linie eingerissen befindet, und in welchem in der nachher anzugebenden Höhe eine Diopteröffnung eingebohrt ist, so daß diese durch die gezogene Linie halbirt wird. An eben dieses Bret ist das Holzstück F angesetzt, welches dicker ist und dessen obere, der Fläche des Bretes parallele Fläche mit dem Ende s der Schraube bei I gleich hoch oder etwas höher liegt. Auf diesem Holzstücke ist durch die zwei Bänder u, u ein 5—6 Zoll langes, messingenes Rohr R befestigt, woran das eine Ende e einen Deckel, in dessen Mitte sich ein kleines Loch befindet, und das andere Ende m n einen Absatz hat, damit ein ebenes, kreisrundes Glas eingesetzt werden kann. Der Durchmesser dieses Rohres, also auch des Glases, ist 1 Zoll. Die Bänder u, u lassen sich sammt dem Rohre nach links und rechts hin etwas verschieben, indem die Schrauben, welche sie festhalten, durch in den Bändern vorhandene Schlitze gehen. Uebrigens sind vermittelst dieser Schrauben die Bänder nur so fest angezogen, daß das Rohr sich, jedoch etwas strenge, um seine Axe drehen läßt. Das runde Glas muß mit ebenen, unter einander parallelen Flächen versehen sein und sich in dem Absatze bei m n senkrecht auf die Axe des Rohres einsetzen lassen. Ferner ist das Centrum dieses Glases mit einem feinen Punkte bezeichnet und durch letzteren mittelst einer stählernen Spitze eine gerade Linie so gezogen, daß diese einen Durchmesser des kreisrunden Glases bildet. An dem schon oben erwähnten, am Ende b des Lineals b c senkrecht befestigten, etwa 2 Zoll hohen Messingstreifen (von welchem wir auch bereits wissen, daß er eine senkrecht auf die Ebene des Bretes A B C D eingerissene und genau über dem Nullpunkte des Nonius stehende gerade Linie enthält), ist die eine senkrechte Hälfte mit einem weißen Papierstreifen bedeckt, so daß die eine gerade Kante desselben genau auf die eben besagte eingerissene Linie fällt, und die andere Hälfte des Streifens (den wir Kürze halber das Diopter b heißen wollen) ist bis an diese Linie mit schwarzer Farbe überzogen. Das ebenfalls schon früher besprochene, aus einem ähnlichen Messingstreifen bestehende, aber fixe Diopter a ist an der dem Rohre R zugewendeten Seite mit feinem, weißem Papier

überzogen und darauf eine schwarze, scharf begrenzte Linie gezogen, die genau über die auf dem Messingstreifen von a eingerissene senkrechte Linie fällt. In diesem Papiere ist auch die im Diopter (a) eingebohrte Visiröffnung durchgestochen, und es muß diese Oeffnung genau eben so weit, wie der Mittelpunkt des Planglases im Rohre R von der Fläche des Bretes ABCD entfernt sein, so daß die durch das Centralloch im Rohrdeckel e, durch den Mittelpunkt des Glases und endlich durch die Visiröffnung in a gezogene gerade Linie ea der Bretfläche parallel ist. Ferner ist auf dem weißen Papiere durch die Visiröffnung und senkrecht auf die vorbesagte, schwarze, scharfbegrenzte Linie eine zweite solche (also horizontale, schwarze) Linie gezogen. Bei dem Instrumente, dessen sich Prechtl selbst bediente, betrug die Länge des Lineals (der Regel) cb oder der Halbmesser des Kreisbogens AE 18 Zoll (15 Zoll würden ebenfalls hinreichend sein); jeder Grad am Kreisbogen war in Sechstel, also von 10 zu 10 Minuten getheilt und 29 dieser Theile machten 30 Theile des Nonius aus; es ging also die Ablesung auf 20 Sekunden, was für den Zweck des Instrumentes mehr als hinreichend genau ist.

Gebrauch des Instrumentes zur Bestimmung des Brechungsverhältnisses einer Glassorte. Zu diesem Behufe muß vor Allem aus der betreffenden Glassorte ein dreiseitiges Prisma geschliffen worden sein, dessen brechender Winkel beiläufig 30 Grade beträgt. Die passendste Größe hat es, wenn es 0·3 Zoll breit und 0·4—0·6 Zoll lang ist; man braucht also dazu nur ein kleines Stück Glas. Nun wird in folgender Weise verfahren: 1. Man befestigt das Prisma auf dem runden Planglase. Zu dem Ende nimmt man dieses Glas aus dem Rohre R heraus, legt es auf das ebene Bret und dann darauf das Prisma, so daß, (wie die

Fig. 647.

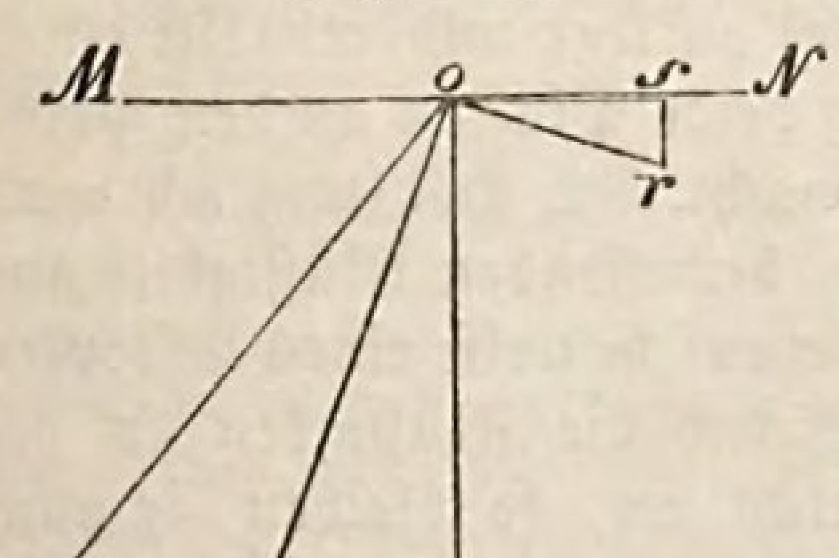


Figur 647 zeigt, welche das Planglas und das darauf gelegte Prisma in größerem Maßstabe darstellt), die früher besagte, auf dem Planglase eingerissene Linie pq zwischen die Kante io des brechenden Winkels und die der Kante gegenüber liegende Fläche rst (die Grundfläche) des Prismas, aber nahe an diese Kante fällt, und derselben möglichst parallel ist. In dieser Stellung wird das Prisma hernach dadurch befestigt, daß man an jeder Seite desselben etwas Wachs anlegt, und dieses mittelst des Daumens, zugleich aber auch das Prisma mittelst des Zeigefingers auf das Glas niederdrückt. So wird das Prisma nicht aus seiner Stellung gebracht und liegt nachher mit der ganzen untern Seite überall an der Fläche des Glases an. 2. Man setzt nun das Glas mit dem Prisma bei mn in das Rohr R ein, so daß das Prisma sich außer dem Rohre befindet und die Linie pq eine senkrechte Richtung hat. Hernach schiebt man das Rohr so weit gegen den Zapfen c vorwärts, bis der Theil der vorderen Fläche des Prismas, der gerade über der Linie pq des Glases liegt, über dem Mittelpunkte des Zapfens c steht. Man visirt hierauf durch das Loch e und richtet das Rohr R durch Drehen um seine Axe oder durch eine geringe Bewegung nach der Seite hin so lange, bis die auf dem Glase eingerissene Linie pq die senkrechte, schwarze Linie des Diopters a sowohl am unteren als oberen Theil genau deckt und die horizontale schwarze Linie dieses Diopters (siehe oben) durch den Mittelpunkt des Glases läuft. Nun versichert man sich, daß die Linie vw, in welcher eine auf dem Planglase senkrechte und nach pq durch das Prisma geführte Ebene die vordere Fläche des letzteren durchschneidet, genau über dem Mittelpunkte des Zapfens c liegt, indem man die scharfe Kante eines messingenen Lineals an die besagte Durchschnittslinie vw anlegt, wo dann der Endpunkt dieser Kante genau auf den Mittelpunkt des Zapfens treffen muß. Ist dies nicht der Fall, so wird durch geringes Vorwärtsschieben des Rohres R nachgeholfen. Hierauf visirt man neuerdings durch e, um sich zu überzeugen, daß die senkrechte schwarze Linie auf dem Dioter a noch durch den Strich auf dem Glase gedeckt wird. 3. Man visirt nachher durch das Diopter a nach dem Strich (pq) auf dem Glase hin: fällt dieser mit dem senkrechten Striche dieses Diopters, dessen Bild in dem Glase wie in einem Spiegel erscheint, zusammen; so steht die Glasfläche senkrecht auf der Linie ea, wie es sein soll. Ist dies aber nicht der Fall, sondern der Strich auf dem Glase und das Bild des Diopterstriches stehen parallel neben einander; so wird das Glas durch einen entsprechenden Druck auf die rechte oder linke Seite so weit nach der einen oder andern Richtung um die Linie pq als um eine Axe gedreht, bis die beiden Striche einander genau decken. 4. Jetzt hat man sich zu versichern, ob die Prismakante io (Fig. 647) der senkrechten Linie pq vollkommen parallel ist, weil eine Unrichtigkeit in dieser Stellung einen Fehler in der Bestimmung des brechenden Winkels (ros) hervorbringen würde. Zum Behufe dieser Versicherung wird die Regel bc mit dem Diopter b über a hinaus bis nach E geführt, während man durch die Oeffnung e visirt. Es erscheint dann vermöge der Brechung durch das Prisma das Bild des Diopters b neben dem Diopter a, welches man zugleich durch das Planglas sieht. Liegt dieses Bild in gleicher Höhe mit dem Diopter a, so daß die obere Kante des letzteren mit jener (der oberen Kante) des besagten Bildes in eine und die-

selbe gerade Linie fällt; so ist die Stellung des Prismas auf dem Glase richtig. Im entgegengesetzten Falle muß das Prisma auf dem Glase ein wenig nach der einen oder andern Seite verschoben werden, bis die Höhe der beiden Diopter gleich ist. Wenn es nöthig war, diese Correktion vorzunehmen, so muß dann die vorhergehende wegen der richtigen Stellung des Glases wiederholt werden. 5. Das Instrument ist nun hergerichtet, um den brechenden Winkel des auf dem Planglase befestigten Prismas zu messen. Letzteres muß zu diesem Ende die in der Figur 647 dargestellte Lage haben, so daß die Kante des besagten Winkels nach A (Fig. 646) hin gerichtet ist. Man visirt nämlich durch die Oeffnung des Diopters a, während man die Regel bc so lange gegen b bewegt, bis man die in der Mitte des Diopters b befindliche Kante des Papierstreifens im Prisma (zu Folge Reflexion von dessen vorderer Fläche) erblickt. Man stellt dann die Regel durch geringes Vor- oder Zurückschieben so, daß das Bild der besagten Kante des Papierstreifens mit der Linie pq, welche das Bild der Diopterlinie a deckt, zusammenfällt, und lies't hierauf den Winkel ab, welchen der Nullpunkt des Nonius abschneidet. Die Hälfte dieses Winkels ist der brechende Winkel des Prismas . . . (1). Zur Vermeidung von Fehlern ist wesentlich, daß das Zusammenfallen der senkrechten Linie pq mit der senkrechten Diopterlinie a ein genaues sei, und daß von der Visiröffnung a aus die Linie pq von der reflektirten Diopterlinie immer genau gedeckt erscheine; ferner hat man die Beobachtungen mehrmals zu wiederholen und aus denselben das arithmetische Mittel zu nehmen. Damit die reflektirten Bilder möglichst deutlich werden, müssen die beiden Diopter dem Lichte ausgesetzt, das Rohr R in den Schatten gestellt werden. 6. Jetzt mißt man den Ablenkungswinkel. So heißt bekanntlich überhaupt der Winkel, um welchen ein Lichtstrahl durch die Brechung von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird. In dem Falle, wo wie hier, beim Uebergange nämlich aus Luft in Glas, eine Brechung zum Einfallslothe stattfindet, stellt xAy der früheren Fig. 558 (auf S. 631) den Ablenkungswinkel vor. Um nun diesen Winkel mittelst des Instrumentes für die Brechung in dem auf dem Glase befestigten Prisma zu erhalten, dreht man das Rohr R um seine Axe, bis dieses Prisma in die gegen jene unter 5. bezeichnete Lage umgekehrte Stellung gebracht worden, nämlich bis dessen Kante io nach B (Fig. 646) hin gerichtet ist. Man muß sich dann wieder versichern, daß der Strich (pq) auf dem Glase mit der Linie auf dem Diopter a zusammenfällt; ferner, daß die Linie vw (Fig. 647), in welcher der Strich pq die vordere Fläche des Prismas durchschneidet, genau über dem Mittelpunkte des Zapfens c stehe und endlich, daß, von a aus visirt, der Strich auf dem Glase und das durch Reflexion entstehende Bild der Linie auf dem Diopter a einander genau decken. Ist dies Alles geschehen, so visirt man durch die Oeffnung e des Rohres, während die Regel bc so lange gegen a bewegt wird, bis man das Diopter b zu Folge Brechung durch das Prisma erblickt. Man stellt nun die Regel vermittelst kleiner Bewegungen derselben so, daß die Kante des weißen Papiers, welche auf dem Diopter b die senkrechte Mittellinie bildet, genau auf die Linie pq des Planglases fällt, lies't dann den Winkel ab, welchen der Nullpunkt des Nonius abschneidet, und hat so den Ablenkungswinkel. Auch diese Beobachtungen hat man mehrmals zu wiederholen und aus denselben das arithmetische Mittel zu nehmen. 7. Da nunmehr der brechende Winkel des Prismas und der Ablenkungswinkel gefunden sind, so hat man auch den Brechungsinder $n = \frac{\sin.(\psi + D)}{\sin.\psi}$, wenn ψ den besagten brechenden und D den Ablenkungswinkel bezeichnet.

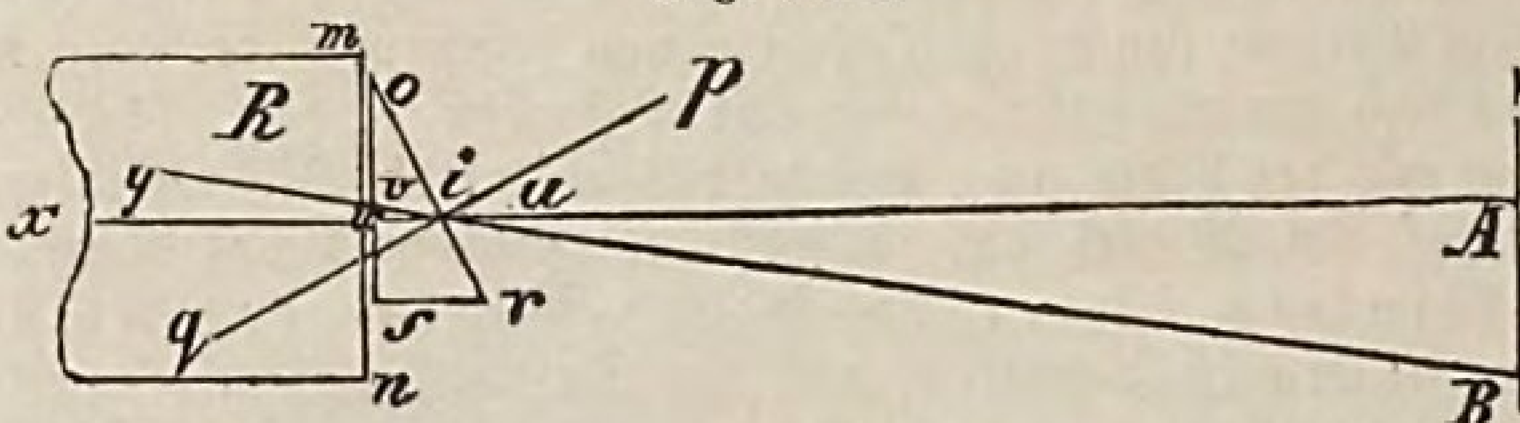
Die theoretischen Gründe, auf welchen das beschriebene Verfahren mit diesem Instrumente beruht, sind folgende. Es sei MN (Fig. 648) die Fläche des Planglases, auf welchem das Prisma so befestigt ist, daß seine Kante o in der Ebene liegt, welche durch die auf dem Planglase senkrechte Linie oa gelegt werden kann und das Prisma übrigens die vorn unter 5. vorausgesetzte Lage hat. op sei eine auf der Prismafläche or senkrechte Linie und in o liege die Durchschnittslinie der Kante des Prismas mit der Fläche des Planglases; so ist der Winkel aop, welcher von den zwei Perpendikel po und ao eingeschlossen wird, dem brechenden Winkel sor $= \psi$ des Prismas gleich...(2): denn aus sor + roa = roa + aop $= 90^0$, folgt sor = aop. Visirt man aus dem Punkte a auf die äußerste Kante o des Prismas, bis die Mitte eines in b befindlichen Gegenstandes [die Linie auf dem Diopter b nach der Voraussetzung unter 5.] an dieser Kante sichtbar wird, so ist der Winkel boa = 2 sor = 2 ψ. Denn da po das Perpendikel auf die Prismafläche ro, und bei der Reflexion (hier von der spiegelnden Fläche MN) der Einfallswinkel immer dem Reflexionswinkel gleich ist, so folgt: bop = poa, mithin poa = $\frac{1}{2}$boa

Fig. 648.



Die auseinander gesetzte Bestimmung des Ablenkungswinkels hat folgenden theoretischen Grund. Es stelle R (Fig. 649) das Rohr des Instrumentes (im abgebrochenen Zustande), m n das in dem Rohre eingesetzte und auf der Axe x w desselben genau senkrechte Planglas und r o s das auf dessen Fläche aufliegende Prisma vor. Es erleidet nun ein Strahl von der Richtung w x im Prisma nur eine Brechung, nämlich bei i der schiefen Fläche o r, z B nach der Richtung i B hin. Das Einfallsloth für diesen Punkt ist p q; der Einfallswinkel ist q i w = p i A; A i B ist der Ablenkungswinkel und p i A + A i B der Brechungswinkel. Offenbar wird ein von B (von der Mitte des Diopters b) ausgehender und bei i einfallender Strahl B i nach der Brechung im Prisma die Richtung i x durch die Mitte des Rohres nehmen und dem durch die Oeffnung e des Rohres (Fig. 646) sehenden Auge der Punkt B (die Mittellinie des Diopters b) mit dem Punkt A (mit der Mittellinie des Diopters a) zusammenfallend erscheinen.

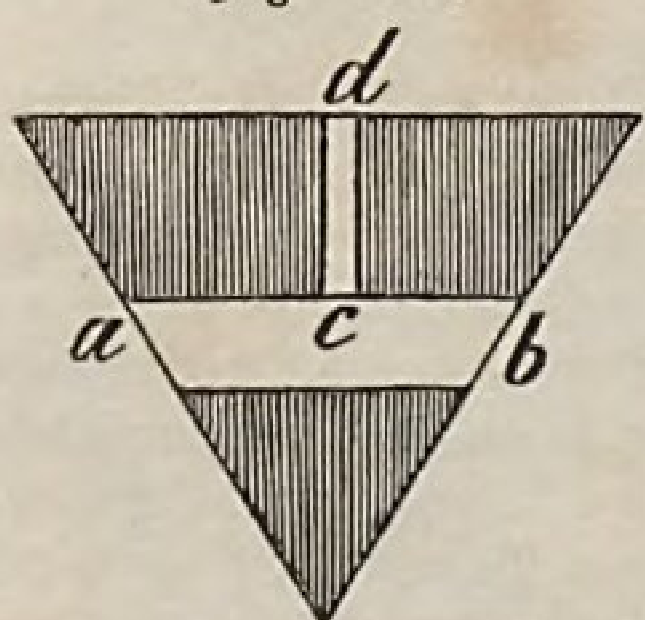
Fig. 649.



Für diesen Fall ist aber p i A + A i B der Einfallswinkel, x i q = p i A der Brechungswinkel und x i y = A i B der Ablenkungswinkel, welcher D heißen soll. Nun ist aber der Winkel p i A = w i q . . . 1), welchen wir mit α bezeichnen wollen, gleich dem brechenden Winkel r o s = ψ . . . 2) des Prismas. Denn es ist o w i + w o i + o i w = p i A + p i o + o i w = 180° oder o w i + w o i = p i A + p i o; es ist aber o w i = p i o = 90°, daher w o i = p i A, und wegen w o i = r o s = ψ und p i A = w i q = α [zu Folge 1) und 2)] folgt $\psi = \alpha$ . . . 3). Endlich ist der Ablenkungswinkel D = y i x = B i A, und wird auf die unter 6. auf S. 725 angegebene Weise durch unmittelbare Ablesung auf dem Gradbogen A E (Fig. 646) erhalten; es ist sonach für den Strahl B i der Einfallswinkel p i A + A i b (= ψ + D) und der Brechungswinkel w i q (= $\alpha = \psi$), und mithin der Brechungsexponent $n = \frac{\sin.(\psi + D)}{\sin.\psi}$ gefunden. Schließlich muß hier noch die Bemerkung nachgetragen werden, daß das Planglas m n, worauf das Prisma befestigt ist, an den besprochenen Brechungen keinen Antheil hat, daher in Bezug auf letztere als gar nicht vorhanden erscheint, weil, wie im nächstfolgenden Absatze bewiesen werden wird, aus durchsichtigen Mitteln, die von unter einander parallelen Flächen begrenzt sind, jeder Lichtstrahl immer nach einer Richtung austritt, die seiner Einfallsrichtung parallel ist. . . . . (166).

329. Bestimmung der Brechungsverhältnisse tropfbarer Körper. Sie geschieht ganz in derselben Art, wie bei festen Körpern, nachdem man vorher die betreffende Flüssigkeit dadurch in die Gestalt eines dreiseitigen Prismas gebracht hat, daß damit ein hohles Prisma angefüllt worden, dessen entsprechend gegen einander geneigte Seitenwände aus ebenen, von unter sich parallelen Flächen begrenzten Glasplatten bestehen. Ein solches Prisma wird am leichtesten erhalten, wenn man, wie Fig. 650 zeigt, durch ein massives Glasprisma von einer Seitenfläche zur andern ein Loch a b bohrt, von der Prisma-Basis aus in dieses Loch eine engere Bohrung c d führt, dann auf jede der zwei Seitenflächen eine ebene, überall gleich dicke Glasplatte (ein Stück einer gut geschliffenen Spiegelplatte) auflegt und mittelst einer entsprechenden Messingfassung beide Platten an den Prismaflächen flüssigkeitsdicht festmacht. Die Höhlung a b wird durch die Bohrung c d mit der betreffenden Flüssigkeit angefüllt und diese Bohrung hierauf mittelst eines Pfropfes verschlossen.

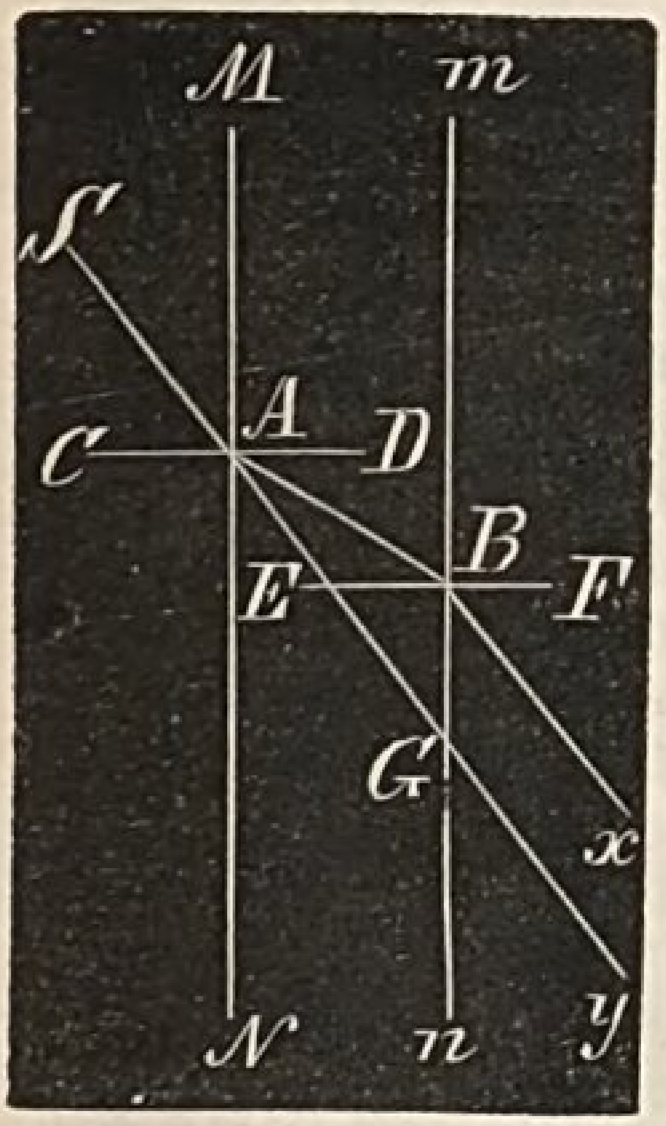
Fig. 650.



Drückt man die aufgelegten Platten, während die Flüssigkeit in die Höhlung a b eingefüllt wird, an die Prismaflächen leicht an, so bleiben sie auch ohne Messingfassung, blos vermöge Haarröhrchen-Wirkung fest und flüssigkeitsdicht haften. Die Stelle des durchbohrten Glasprismas kann auch ein Stück einer in der Wand etwas dickeren Glasröhre vertreten, die an den Enden unter entsprechender Neigung und eben abgeschliffen ist. Endlich kann das hohle Prisma auch dadurch hergestellt werden, daß man Glasplatten der vorerwähnten Beschaffenheit

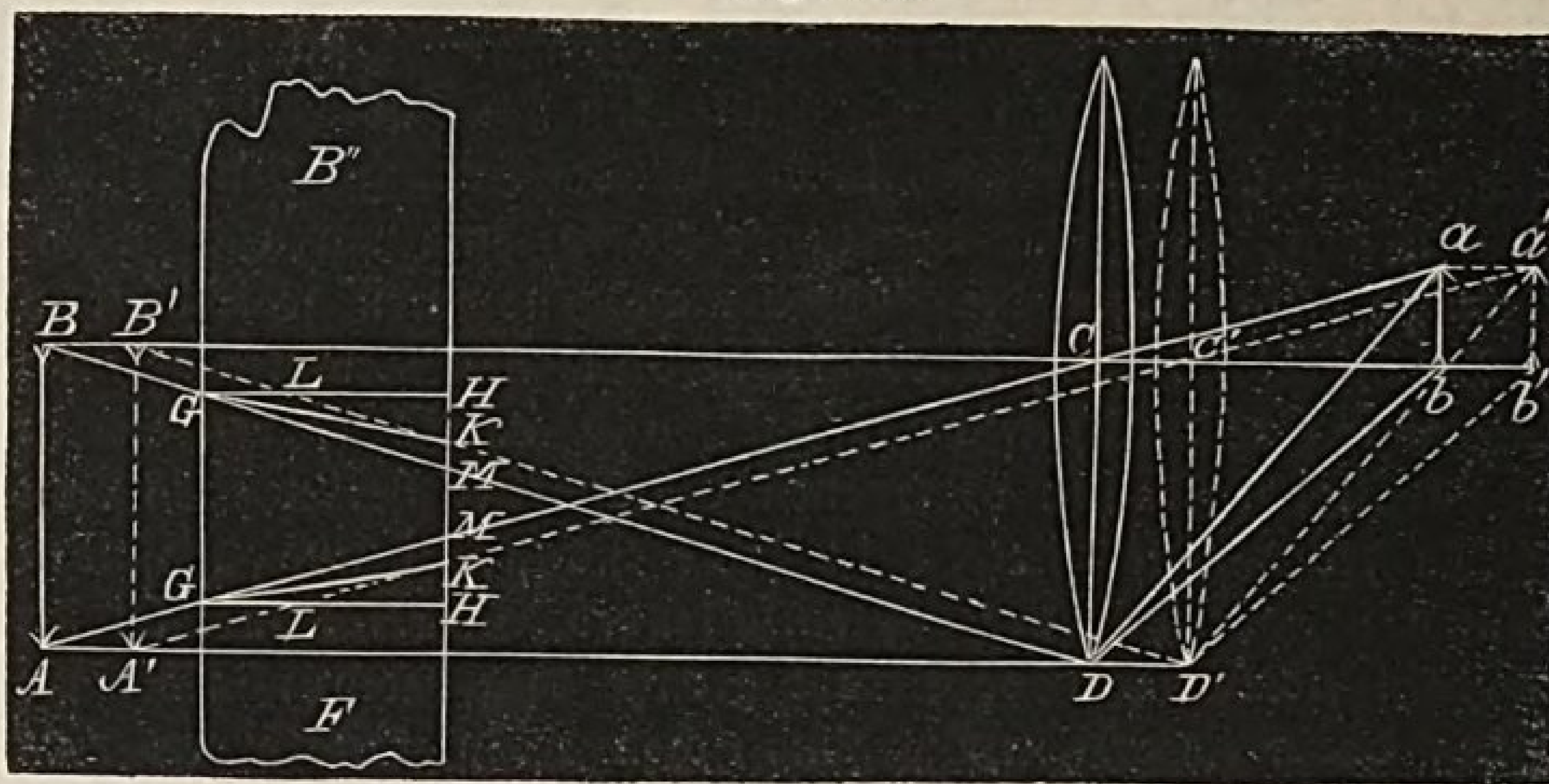
(mit parallelen Flächen) in einem hohlen Prisma aus Metallblech und mit durchbrochenen Seitenwänden auf diesen letzteren festkittet. (Es versteht sich von selbst, daß weder das Metall noch der Kitt von der einzufüllenden Flüssigkeit angegriffen werden darf, und daß das zuerst beschriebene, in den mit der Flüssigkeit in Berührung kommenden Theilen ganz aus Glas bestehende Hohlprisma vorzuziehen ist, weil es für alle Flüssigkeiten dienen kann, die Flußsäure ausgenommen, welche allein das Glas angreift.) Die in die Höhlung jedes der besprochenen Prismen gefüllte Flüssigkeit hat dann offenbar eine prismatische Gestalt, und, da die an den Seiten sie begrenzenden, mit parallelen Flächen versehenen Glasplatten selbst, das Licht nicht brechen, d. h. da jeder diese Platten treffende Lichtstrahl aus denselben nach einer Richtung austritt, welche jener des einfallenden Strahles parallel ist, so wird ein durch das Hohlprisma gehender Strahl gerade so gebrochen, als wäre er nur allein durch den darin enthaltenen prismatischen Flüssigkeitskörper hindurchgegangen. Die Richtigkeit des eben ausgesprochenen Satzes, die auch schon auf S. 726 unter (166) vorausgesetzt wurde, ergibt sich aber folgender Maßen. Stellen in Fig. 651 die Linien **MN** und **mn** die beiden einander parallelen Begrenzungsflächen der Glasplatte, **SA** einen einfallenden Strahl vor, der in der Glasplatte von **A** nach **B** und beim Austritte aus derselben von **B** nach **x** hin gebrochen angenommen werden soll, und welcher, wenn er nicht gebrochen würde, in der Richtung **Ay** fortginge; sind ferner **CD** und **EF** die Einfallslothe zu den Punkten **A** und **B**, so ist der Brechungsexponent $n = \frac{\sin. SAC}{\sin. DAB}$, und eben so ist $\frac{\sin. FBx}{\sin. ABE} = n$, mithin $\sin. SAC = \frac{\sin. FBx}{\sin. ABE}$. Da die Einfallslothe **CD** und **EF** parallel, also die Wechselwinkel $DAB = ABE$ gleich sind, so folgt $SAC = FBx$ und auch $SAM = xBn$ . . . (1), da diese Winkel die Ergänzungen von **SAC** und **FBx** zu 90^0 sind. Nun ist aber $SAM = NAG$, und $AGB = yGn$ (wegen Gleichheit der Scheitelwinkel); ferner ist $NAG = AGB$ (es sind Wechselwinkel zwischen Parallelen), daher ist auch $SAM = yGn$ . . . (2). Aus (1) und (2) folgt nun $xBn = yGn$ und hieraus wieder, daß **Bx** parallel zu **Gy** oder **Sy** d. h. der austretende Strahl parallel zur Richtung des einfallenden Strahles sei, was zu erweisen war. Am Ende des Buches findet man in Tabelle **XII** die Brechungsexponenten verschiedener fester und tropfbarer Körper; ferner in Tabelle **XIII** insbesondere die Brechungsverhältnisse mehrerer Gläser und zwar für die von Fraunhofer im Spektrum mit **B, C, D, E, F, G, H** bezeichneten Grade der Brechbarkeit.

Fig. 651.



Schließlich soll hier noch eine von Sabler angegebene Methode, das mittlere Brechungsverhältniß, auf das es in der praktischen Optik meistens ankömmt, zu bestimmen mitgetheilt werden, welche ebenfalls sehr genau und überdies sehr leicht, mit weißem Lichte und ohne ein Prisma zu Hilfe nehmen zu müssen, ausführbar ist. Gäbe es ein einfaches Prisma, welches einen weißen Lichtstrahl bloß bräche, ohne ihn in Farben zu zerlegen, so würde man mittelst desselben das mittlere Brechungsverhältniß des Stoffes, woraus das Prisma besteht, mit aller Schärfe erhalten, weil dann die Unbestimmtheit, welchen Strahl man als den von mittlerer Brechbarkeit ansehen soll (welche Unbestimmtheit selbst bei Zuhilfenahme der Fraunhofer'schen Linien nicht ganz behoben ist) wegfiele. Nun ist ein solches einfaches Prisma zwar nicht denkbar; es gibt aber einen Fall der Brechung, wo zwar auch eine, aber auf die Beobachtung nur unmerklichen Einfluß nehmende Zerlegung stattfindet, und welcher das mittlere Brechungsverhältniß mit großer Genauigkeit zu bestimmen gestattet: es ist dies die Brechung durch parallele Flächen (166). Man denke sich einen leuchtenden Gegenstand AB (Fig. 652) an-

Fig. 652.



ßerhalb der Brennweite einer Linse, so entsteht hinter dieser ein verkehrtes Bild ab. Bringt man nun zwischen den Gegenstand und die Linse den mit parallelen Flächen versehenen durchsichtigen Körper B''F, so werden die senkrechten Strahlen BC und AD ungebrochen durch diesen hindurchgehen, die Strahlen BD und AC aber in G nach K gebrochen, nehmen nach ihrem Austritte die zu ihren ursprünglichen Richtungen parallelen Wege KD', KC', die Spitzen der Strahlenkegel fallen nun nach B', A' und der Gegenstand AB hat daher durch das Dazwischensetzen des Körpers B''F eine scheinbare Verrückung BB' = AA' erfahren. Soll jetzt das Bild ab in derselben Größe und in gleicher Distanz von der Linse erscheinen, wie früher, so muß diese offenbar um dieselbe Größe AA' = CC' = GL verrückt werden, wodurch das neue Bild a'b' entsteht. (Der einfacheren Betrachtung wegen wurde hier der Lichtstrahl von G nach K unzerlegt gebrochen angenommen. Allerdings findet bei dieser Brechung auch eine Zerlegung Statt; die farbigen Strahlen treten bei K parallel mit der ursprünglichen Richtung heraus und es entstehen eine Menge kleiner hinter einander liegender farbiger Bilder. Sie liegen aber so nahe hinter einander, daß der Effekt der einer ohne Zerlegung vor sich gehenden Brechung ist, welche die mittlere aller Brechungen repräsentirt, auf welche es ankömmt.) Die Größe dieser Verrückung CC', welche wir mit α bezeichnen wollen, hängt ab von der Dicke β = GH des durchsichtigen Körpers B'' F und von seinem Brechungsverhältnisse μ, und es findet zwischen diesen 3 Größen die einfache Relation Statt, daß $\mu = \frac{\beta}{\beta - \alpha}$ ist. Denn bezeichnet man den Einfallswinkel MGH mit ε und den Brechungswinkel KGH mit ϱ; so hat man $HM : HK = HG : HL = \beta : \beta - \alpha = \text{tg.}\, \varepsilon : \text{tg.}\, \varrho$. Es ist aber nach $\mu = \frac{\sin.\, \varepsilon}{\sin.\, \varrho}$, also $\sin.\, \varepsilon = \mu \sin.\, \varrho$; daher $\text{tg.}\, \varepsilon = \frac{\mu \sin.\, \varrho}{\cos\, \varepsilon}$ und $\text{tg.}\, \varrho = \frac{\sin.\, \varepsilon}{\mu \cos\, \varrho}$, mithin $\frac{\beta}{\beta - \alpha} = \frac{\mu^2 \sin\, \varrho \cos.\, \varrho}{\sin.\, \varepsilon \cos.\, \varepsilon}$. Substituirt man in diesen Ausdruck für $\sin.\, \varepsilon$ seinen Werth $\mu \sin.\, \varrho$, so erhält man: $\frac{\beta}{\beta - \alpha} = \mu \cdot \frac{\cos.\, \varrho}{\cos.\, \varepsilon}$ und $\mu = \frac{\beta}{\beta - \alpha} \frac{\cos.\, \varepsilon}{\cos.\, \varrho}$. Nun kann $\frac{\cos.\, \varepsilon}{\cos.\, \varrho}$ unbedenklich = 1 gesetzt werden, denn der Einfallswinkel braucht in der Praxis nie größer als 1^0 und kann nach Belieben noch kleiner genommen werden, wo dann $\frac{\cos.\, \varepsilon}{\cos.\, \varrho}$ von der Einheit erst in der fünften Dezimale differirt, die man beim Brechungsverhältniß doch nie sicher angeben kann. Für die Praxis genügt daher vollkommen die einfache Formel $\mu = \frac{\beta}{\beta - \alpha}$, und man hat demnach, um den Brechungsexponenten zu erhalten, nur die Dicke des durchsichtigen Körpers B''F, für welchen μ der Brechungsexponent ist, und die Verrückung CC' = α zu messen.

Offenbar werden die unvermeidlichen kleinen Fehler dieser Messungen einen desto geringeren Einfluß haben, je größer α und β selbst sind. Hat man daher von zu optischen Zwecken bestimmten Gläsern, welche von dem Optiker immer in Scheibenform bezogen und in Angriff genommen werden, eine solche Scheibe, so ist es am vortheilhaftesten, an den schmalen Rändern derselben, und zwar an zwei einander diametral gegenüber liegenden Stellen zwei einander parallele Planflächen (Facetten) anzuschleifen, die übrigens nur einige Linien groß zu sein brauchen. Man pflegt ohnehin schon bloß zur Untersuchung der Reinheit und Wellenlosigkeit der besagten zu optischen Instrumenten zu verwendenden Gläser an diese solche Facetten anzuschleifen, und erspart also, nach dem hier empfohlenen Verfahren der Bestimmung des Brechungsverhältnisses das sonst nöthige, nur die betreffende Glasscheibe verkleinernde und für das Glas gefährliche Absprengen eines Stückes, um daraus ein Prisma herzustellen. Die Messung der Dicke β des Glases von der Mitte der einen angeschliffenen Planfläche bis zur Mitte der andern hat gar keine Schwierigkeit und geschieht einfach mit Hilfe eines Greif- oder Tasterzirkels, der feine Spitzen hat, und eines guten eingetheilten Maßstabes. Zur Messung der Größe α eignet sich ein Mikro-

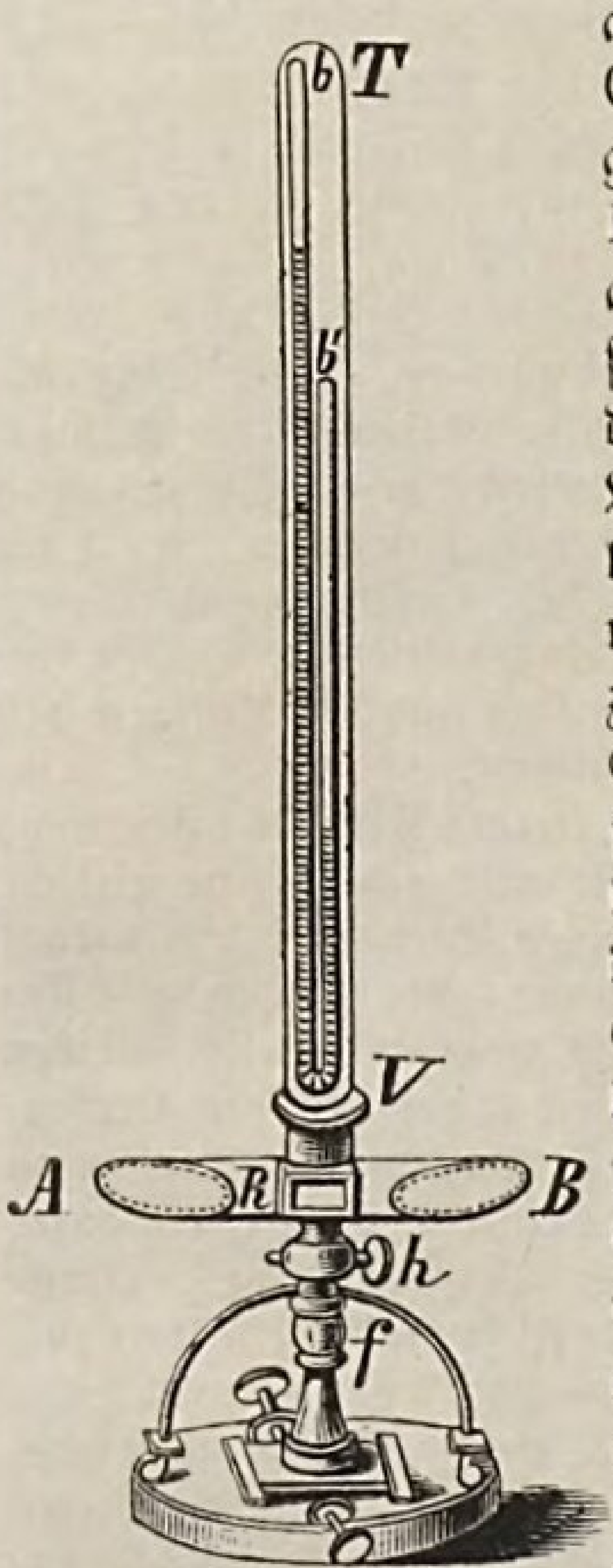
skop, das keine zu kurze Sehweite hat. Man nimmt am besten ein kleines achromatisches Objectiv von etwa 3'' Brennweite, das etwa 4''' Oeffnung haben kann, und verbindet es durch eine Auszugröhre mit einem stark vergrößernden Oculare. Trifft man die Anordnung, daß das Objectiv vom Oculare 7·5'' absteht, so beträgt die Sehweite des Mikroskopes 5'', was für die meisten Messungen an Gläsern bis 5 Zoll Durchmesser passend ist. Hat man noch größere Gläser zu messen, so kann man durch Verminderung der Länge des Mikroskopes seine Sehweite entsprechend verlängern. Es ist aber immer vortheilhaft, diese Sehweite so kurz als möglich zu machen, weil die Einstellung dann eine desto schärfere ist. Beim Gebrauch stellt man nun das beschriebene Mikroskop horizontal gegen eine gut beleuchtete, senkrechte weiße Fläche, auf die man ein kleines schwarzes Object etwa von 1''' Durchmesser oder noch kleiner zeichnet. Man stellt jetzt das Mikroskop so ein, daß man das Object mit möglichster Deutlichkeit sieht und bemerkt sich diese Stelle. Setzt man jetzt das zu untersuchende Glas zwischen das unverrückt stehende Object und das Mikroskop, so muß man letzteres um die Größe α von der besagten weißen Fläche entfernen, um den Gegenstand wieder deutlich zu sehen und kann diese Verschiebungsgröße α auf der horizontalen Unterlage mittelst des Zirkels messen; besser und genauer erhält man dieses Maß aber, wenn das Mikroskop so eingerichtet ist, daß es sich durch eine Mikrometerschraube mit eingetheiltem Knopfe verschieben läßt und den Linearwerth dieser Schraube, die keine zu feinen Gewinde zu haben braucht, bestimmt.

Eine kleine Abweichung der an die Glasplatten angeschliffenen kleinen Flächen (Facetten) vom Parallelismus hat wenig zu bedeuten, indem dadurch das Bild nur eine kleine seitliche Verstellung erfährt, während seine senkrechte Entfernung von der weißen Ebene mit dem darauf gezeichneten schwarzen Objecte unverändert bleibt; es ist jedoch immer gut, für möglichsten Parallelismus zu sorgen, weil dann über die Dicke des Glases um so weniger Zweifel bleiben kann. Wichtiger ist ein Fehler in der Ebenheit der Facettflächen, weil dieser auf die Entfernung des Bildes Einfluß nimmt. Auf folgende Art kann man diesen Fehler, wenn er vorhanden ist, erkennen und seinen Einfluß in Rechnung bringen. Man nehme ein etwas größeres gutes Fernrohr, etwa von 12'' Zoll Brennweite und mit nicht zu starker Vergrößerung, verdecke das Objectiv bis auf einen 3—4''' kleinen Kreis in der Mitte, richte es dann auf ein weit entferntes Object und stelle das Ocular möglichst scharf ein. Bringt man nachher das zu untersuchende Glas mit seiner parallelen Fläche vors Objectiv und sieht wieder nach dem Gegenstande, so wird man diesen nur dann mit der vorigen größten Deutlichkeit erblicken, wenn die beiden kleinen Flächen vollkommen plan sind. Im entgegengesetzten Falle muß man, um wieder das deutlichste Bild zu erhalten, das Ocular etwas hineinschieben oder herausziehen, jenachdem die besagten Flächen eine kleine Converität oder Concavität haben. Mißt man diese Verschiebung $= a$ (positiv, wenn das Ocular hineingeschoben wird), ferner die Brennweite des Objectivs $= b$, und setzt man die Brennweite der Linse, welche durch die Sphäricität der beiden Flächen gebildet wird, $= x$, so ist $x = \frac{b(b-a)}{a}$. Es sei nun die Entfernung des Mittelpunktes des nach oben beschriebener Methode zu messenden Glases von dem kleinen Beobachtungsobjecte $= d$, so kann man sich, weil die Dicke des Glases β gegen x immer sehr klein ist, die Sache so denken, als ob zwischen dem Mikroskope und Objecte eine Linse von der Brennweite x stünde, deren Wirkung eine scheinbare Versetzung des Objectes in die Entfernung d_1 ist. Alsdann ist $d_1 = \frac{x\,d}{x-d}$ und die Correktion, die wegen der Sphärizität der beiden Flächen an dem gemessenen α anzubringen ist, $\beta = d_1 - d$.

330. Bestimmung des Brechungsverhältnisses gasförmiger Stoffe. Diese geschieht in der nämlichen Weise wie bei den tropfbaren Körpern, indem man nämlich den betreffenden gasförmigen Stoff in ein hohles Prisma einschließt, dessen gegen einander geneigte Seitenflächen durch parallelflächige Spiegelplatten gebildet sind, und dann damit wieder wie mit einem festen massiven Prisma (nach **327**) verfährt. Nur sind noch einige Umstände zu berücksichtigen. Wegen des sehr geringen Brechungsvermögens der Gase muß der brechende Winkel des Prismas ein sehr großer sein, und weiters muß, da die Brechung der luftförmigen Stoffe mit der mindesten Aenderung ihrer Dichte varirt, diese letztere sich in jedem Augenblicke bestimmen lassen, mithin der in die Höhlung des Prismas gefüllte luftförmige Stoff stets mit einem Barometer und einem Thermometer in Verbindung stehen, da die besagte Dichte vom Drucke, unter welchem dieser Stoff steht, und von seiner Temperatur abhängt. Allen diesen Bedingungen wird durch den Apparat vollkommen Genüge gelei-

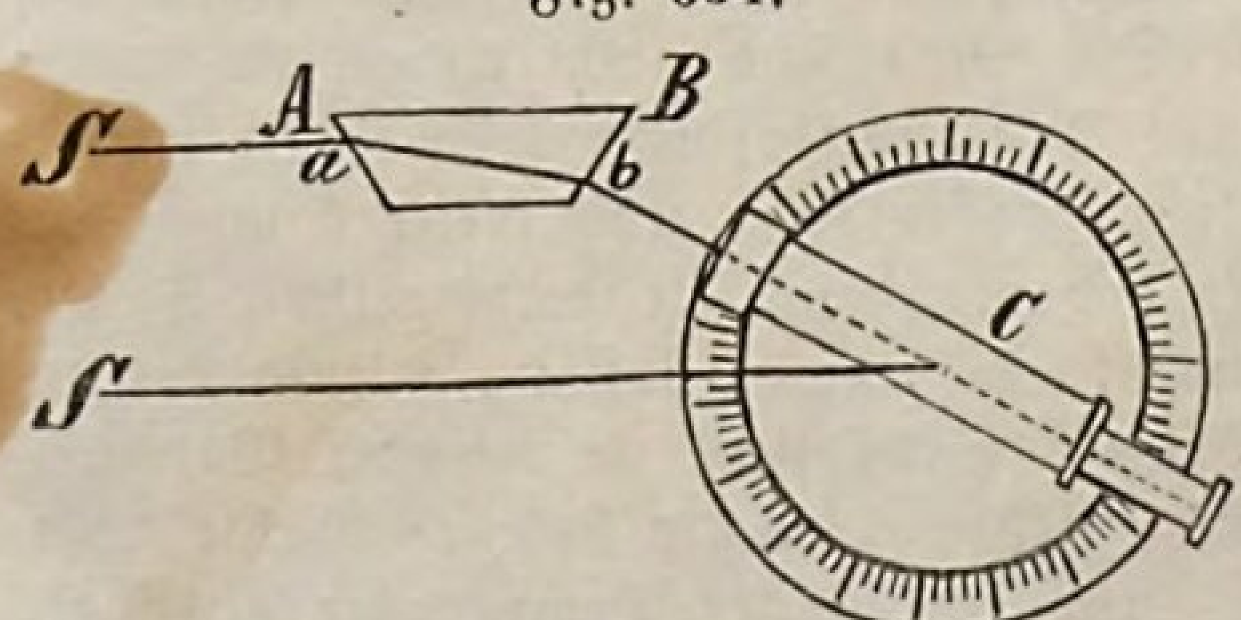
stet, dessen sich Arago und Biot bei ihren sehr schätzenswerthen Untersuchungen über das Brechungsvermögen der verschiedenen Gasarten bedienten und den die Fig. 653 anschaulich macht. Das hohle Prisma besteht aus einer dicken, cylindrischen Glasröhre R, deren beide Enden A, B so schief abgeschliffen sind, daß die verlängerten Schliffflächen gegen einander einen Winkel von 145° 7′ 28″ bilden, und diese Enden sind mit sorgfältig aufgekitteten parallelflächigen Spiegelplatten luftdicht verschlossen. Die Röhre R ist unten, senkrecht gegen ihre Axe, durchbohrt und mit einem Hahne h versehen, der sich an einer Luftpumpe oder auf einem Recipienten derselben festschrauben läßt, um das Prisma luftleer machen und nachher mit dem zu untersuchenden gasförmigen Stoff anfüllen zu können. An ihrer obern, dem Hahne entgegengesetzten Seite ist ein Rohr TV angefügt, mit dessen Innerem sie communicirt und worin sich ein Heberbarometer b b_1 befindet, dessen offener Schenkel hinreichend lang ist, so daß das Quecksilber in demselben mit jenem im anderen Schenkel sich ins Niveau stellen kann, wenn das Prisma luftleer gemacht wird. Die Höhe, auf welcher das Quecksilber dieses Barometers durch das ins Prisma eingefüllte Gas erhalten wird, mißt offenbar den Druck des letzteren. Zur Kenntniß seiner Temperatur könnte man durch ein kleines, ins Prisma versenktes Thermometer gelangen; allein dasselbe müßte in der Mitte des inneren Prismaraumes angebracht werden, es würde dann aber das genaue Ablesen der Temperatur nicht leicht möglich sein. Zweckmäßiger ist es daher, zwei sehr empfindliche Thermometer auswendig am Prisma und ganz nahe an seinen Flächen oder, noch besser, mit diesen in unmittelbarer Berührung aufzuhängen. Die Temperatur dieser Flächen, wie sie dann vom Thermometer angegeben wird, läßt sich ohne merklichen Fehler sowohl für die Gasart, welche die Flächen innerlich, als für die Luft, welche sie äußerlich berührt, annehmen. Ueberdieß hat man ohnehin alle mögliche Vorsicht anzuwenden, daß die Temperatur am Orte des Versuches während des letzteren nur wenige Aenderungen erleidet und diese nur möglichst langsam erfolgen. Das Prisma wird von einem senkrechten Fuße f getragen, so daß es eine horizontale Lage hat und der brechende Winkel seitwärts gekehrt ist. Der Ort der Beobachtung, wo nämlich das Winkelmeßinstrument (der Theodolith) aufgestellt wird, auf der einen und der sehr entfernte Visirpunkt auf der andern Seite des Prismas, müssen in allen Fällen so gewählt werden, daß beide in der nämlichen, durch die Mitte des Prismas gehenden Horizontalebene liegen.

Fig. 653.



Zum Behufe der Bestimmung des Brechungsexponenten der atmosphärischen Luft (im Verhältniß zum leeren Raum) ist das Prisma zuerst luftleer zu machen und hierauf der Winkel SCb (Fig. 654) zu messen, um welchen der Beobachter das Fernrohr aus der Lage, wo es direkt auf den Visirpunkt S gerichtet ist, verstellen muß, damit ein von demselben Punkte kommender, aber das Prisma A B passirender Strahl Sa unter dem Minimum der Ablenkung (durch die Mitte

Fig. 654.



des Fernrohrs) in sein Auge gelange. Diese Messung muß mit der größten Sorgfalt ausgeführt und überdieß mehrere Male wiederholt werden, um ein mittleres Resultat zu erhalten, weil bei der nur äußerst geringen Ablenkung, welche die Lichtstrahlen hier im Prisma erfahren, leicht Fehler begangen werden, diese sich aber bei öfterer Wiederholung der Beobachtungen ausgleichen. Daß der Brechungsexponent dann nach der auf S. 722 unter (12 aufgestellten Formel berechnet werde, bedarf wohl keiner Erwähnung. Eben so leuchtet ein, daß bei diesem Vorgange der Antheil der Luft zu berücksichtigen sei, welcher im Prisma immer zurückbleibt, da, wie bekannt, selbst mit der besten Luftpumpe kein ganz luftleerer Raum erzeugt werden kann. Man hat daher nach vollbrachter möglichster Entleerung des Prismas die (immer nur sehr geringe) Höhe der Quecksilbersäule, welche von dem noch zurückgebliebenen Luftantheile getragen wird, genau abzulesen und mit in Rechnung zu ziehen.

Noch eine andere Correktion ist anzubringen, falls bei den Flächen der Glasplatten, welche die Seiten des hohlen Prismas bilden, eine Abweichung von Parallelismus stattfindet. Denn da das Glas ein sehr kräftiges, die Luft aber nur ein sehr schwaches Brechungsvermögen besitzt, so muß in leicht begreiflicher Weise die besagte Abweichung einen großen Einfluß auf das Ergebniß der Beobachtung üben. Um nun das Stattfinden einer solchen Abweichung zu ermitteln und die Größe des Einflusses derselben zu bestimmen, öffne man den Hahn des Prismas, oder nehme auch die Röhre VT ab, um die äußere Luft frei eintreten zu lassen, und beobachte unter diesen Umständen die Ablenkung (der durchgehenden Lichtstrahlen) auf die nämliche Art, wie man mit dem leeren Prisma verfahren würde. Sind die Oberflächen jeder der Glasplatten einander genau parallel, so kann der Visirpunkt, wenn das Prisma umgekehrt wird, (so daß der brechende Winkel jetzt z. B. nach Links gewendet ist, wenn er vorher nach Rechts gewendet war) keine Verrückung erfahren. Zeigt sich daher eine solche, so kann sie nur Folge des mangelnden Parallelismus sein und man wird die Größe derselben mit ihrem Vorzeichen zu den anderen Beobachtungen hinzuzufügen haben; denn es verhält sich damit, wie mit allen sehr kleinen Größen, deren partielle Wirkungen sich in der Gesammtwirkung nur zu einander hinzufügen.

Ist der Brechungsexponent für andere Gase als die atmosphärische Luft zu bestimmen, so muß man zuerst diese so vollständig als möglich aus dem Prisma entfernen, die Dichtigkeit des noch rückständig gebliebenen Antheils derselben beobachten und dann die betreffende Gasart einfüllen. Letzteres geschieht aus einer das betreffende Gas enthaltenden Glocke über einer pneumatischen Wanne mit Wasser, oder, wenn das Gas von diesem aufgenommen werden sollte, mit Quecksilber. Um im Prisma die Leere oder die eingefüllten Gasarten trocken zu erhalten, ist in die darüber befindliche Röhre **TV** eine gehörige Menge Chlorcalcium oder Aetzkali zu bringen, welche alle Feuchtigkeit zu absorbiren vermag. Uebrigens sind bei Untersuchung was immer für eines gasförmigen Stoffes dieselben Vorsichten zu beobachten, welche oben für die Bestimmung des Brechungsverhältnisses der atmosphärischen Luft als nothwendig bezeichnet wurden.

331. Bestimmung des Zerstreuungsverhältnisses der Glasarten. Da nach **307** unter Zerstreuungsverhältniß zweier durchsichtiger Mittel das Verhältniß ihrer Zerstreuungskräfte verstanden wird, die Zerstreuungskraft eines Mittels aber nach der Formel $\frac{n_2 - n_1}{n - 1}$ gegeben ist, wenn man die Brechungsexponenten (n_2 und n_1) der äußersten Strahlen des Spektrums und den mittleren Brechungsexponenten (n) kennt; so hat man, um das Zerstreuungsverhältniß zu erhalten, für jedes der betreffenden Mittel z. B. für das Crown- und das Flintglas nur diese Brechungsexponenten zu bestimmen. Wie dieß nach der Fraunhofer'schen Methode geschieht, ist aus dem Inhalte von **328** nun für sich klar. Die Tabelle **XIV** am Ende des Buches enthält die Zerstreuungsverhältnisse verschiedener Körper.

Die Schwierigkeit der hierzu erforderlichen Beobachtungen, verbunden mit der Nothwendigkeit weitläufiger und kostspieliger Vorrichtungen zur Anstellung derselben, machen diese

Methode für den praktischen Optiker weniger anwendbar. Ueberdieß ist es für seine Zwecke nicht nothwendig, die Zerstreuungskraft (das Zerstreuungsvermögen) jedes einzelnen der besagten Gläser zu kennen, sondern es ist nur die Kenntniß des Verhältnisses der Zerstreuungskräfte beider Gläser erforderlich. Dieses wird aber am leichtesten und sicher erhalten, wenn man die beiden Gläser so mit einander verbindet, daß die Combination achromatisch erscheint und dann in nachstehend angegebener Art das Zerstreuungsverhältniß dieser Gläser bestimmt. Es ist nämlich in **307** und zwar auf S. **670** gezeigt worden, daß, wenn man zwei Prismen von verschiedenen brechenden Winkeln und aus zwei Glasarten von gleichem (mittlerem) Brechungsvermögen mit nach entgegengesetzten Seiten gekehrten Winkeln auf einander legt, diese Prismacombination achromatisch sei, sobald die Winkel der zwei Prismen im verkehrten Verhältnisse der Zerstreuungskräfte stehen; daß sich also bei Crown- und Flintglas (mit denen es der praktische Optiker gewöhnlich, ja fast ausschließend zu thun hat) das Zerstreuungsvermögen des letzteren zu jenem des ersteren gerade so verhält, wie der Winkel, den das Crownglasprisma zu dem Winkel, welchen das Prisma aus Flintglas haben muß, damit sie, mit einander in oben besagter Weise verbunden, achromatisch sind. Man braucht demnach, um das Zerstreuungsverhältniß für Crown- und Flintglas zu erhalten, nur aus beiden Gläsern (mit gehöriger Rücksichtsnahme auf das S. **670** Gesagte) Prismen von gleichen Winkeln anzufertigen und den Winkel des Flintglasprismas durch entsprechendes Abschleifen allmälig so weit zu vermindern, bis beim Aufeinanderlegen der beiden Prismen sich völlige Farblosigkeit zeigt. Es würde dieß jedoch viel zu mühsam und auch zu unsicher sein. Viel leichter und sicherer gelingt die Bestimmung der Größe des besagten, zur Erzielung des Achromatismus erforderlichen Winkels, indem man über dem unbeweglich bleibenden Prisma aus Crownglas jenes aus Flintglas, welches darauf liegt, derart in einen Bogen bewegt, daß die anfänglich gegen einander parallelen Seitenkanten beider Prismen während der Bewegung immer größere Winkel machen, bis endlich die Kante am brechenden Winkel des obern Prismas mit der brechenden Kante des unter einen rechten Winkel bildet. Die Fig. **655** macht dies (nach Prechtl's Methode) deutlich. A ist das Prisma aus Crown-, und B jenes aus Flintglas; die Flächen, in denen sich beide berühren, liegen beiläufig horizontal. Das Prisma B ist nun auf dem in Ruhe bleibenden Prisma so zu bewegen, als sollte es um einen im untern Prisma senkrecht befestigt zu denkenden Stift c gedreht werden. In der Lage, welche die Figur zeigt, macht die brechende Kante ab des obern Prisma's mit der Kante de des untern, zu welcher sie vorher parallel war, einen Winkel, und eben so bilden die Seitenkanten ad und $a_1 d_1$, wenn sie gegen die brechenden Kanten senkrecht sind, und vorher über einander fielen, jetzt einen Winkel $d a_1 d_1$. In dem Maße nun, als dieser Winkel sich vergrößert, wird der brechende Winkel des Prismas B für den Lichtstrahl, der durch dasselbe hindurchgeht, verringert: denn wenn in dem Prisma B, nach erfolgter Verdrehung in die Lage der Figur, die Linie, in welcher die Brechung erfolgt, in $a_1 o$ liegt, so ist es eben so viel, als ob das Prisma mit der dieser Linie parallelen Kante mb versehen wäre, wo dann der brechende Winkel $f m d_1$ kleiner ist als der vorige $f a_1 d_1$, und zwar desto kleiner, um einen je größeren Winkel $(d a_1 d_1)$ das Prisma gedreht wurde. Bezeichnet man die Größe, die der Drehungswinkel $(d a_1 d_1)$ erhalten muß, damit durch die vereinigten Prismen ein betreffender Gegenstand ohne prismatische Färbung erscheint, mit M, den ursprünglichen brechenden Winkel des Flintglasprismas mit B und den brechenden Winkel, auf welchen dieser durch jene Verdrehung vermindert wird, mit b; so ist $b = B \cos. M$. Für 90^0 wird der Cosinus $= 0$ also auch $b = 0$; für 0^0 ist der Cosinus $= 1$, also $b = B$; oder: wenn die brechende Kante des obern Prismas mit der des untern parallel steht, so hat das erstere rücksichtlich des durchgehenden Strahles seinen natürlichen brechenden Winkel; stehen die beiden Kanten aber senkrecht auf einander, so ist der Winkel $b = 0$. Durch die Drehung des obern Prismas von der ersteren bis in die letztere Lage können also alle zwischen 90^0 und 0^0 liegende brechende Winkel hervorgebracht, und sonach auch für die verschiedensten Glasarten die Winkel, welche die Achromatizität der Prismen bewirken, gefunden werden. Wenn die Brechungsexponenten der beiden Glasarten und die brechenden Winkel der daraus geschliffenen Prismen bekannt sind, läßt sich daher auf diese Weise das Zerstreuungsverhältniß dieser Glasarten genau und ohne Schwierigkeit finden, indem nichts weiter erforderlich ist, als die genaue Messung des Winkels M, um hernach die nöthige Rechnung zu führen. Zu dieser Messung wird aber das bereits beschriebene Instrument in folgender Weise gebraucht. Es wird das Rohr R von dem Brete F weggenommen und auf der Fläche dieses Bretes ein weißes Velinpapier PQ (Fig. 656) aufgespannt, auf welchem eine schwarze Linie ab und genau senkrecht auf dieser mehrere dickere, möglichst scharfkantige Linien mn, $m_1 n_1$ 2c. 2c.

Fig. 655.

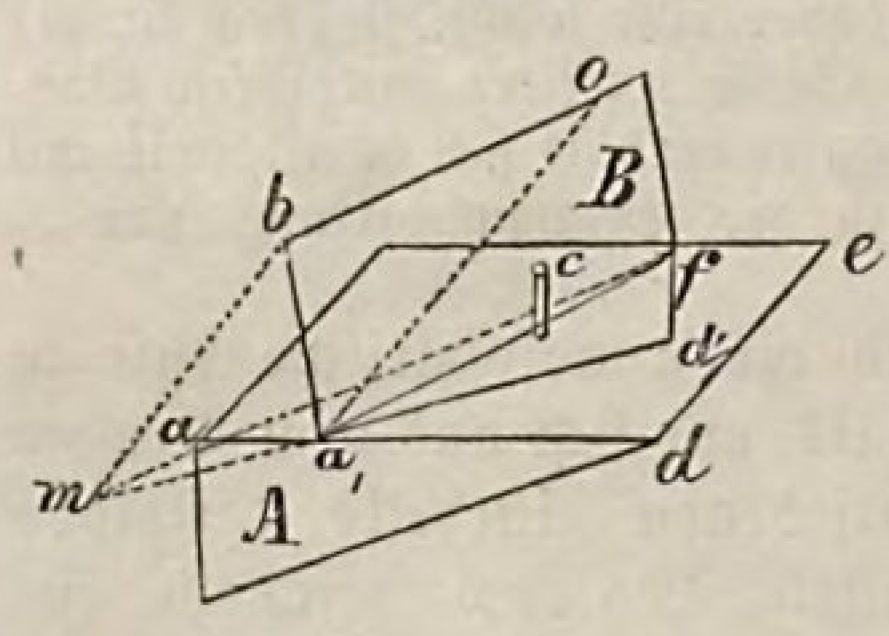
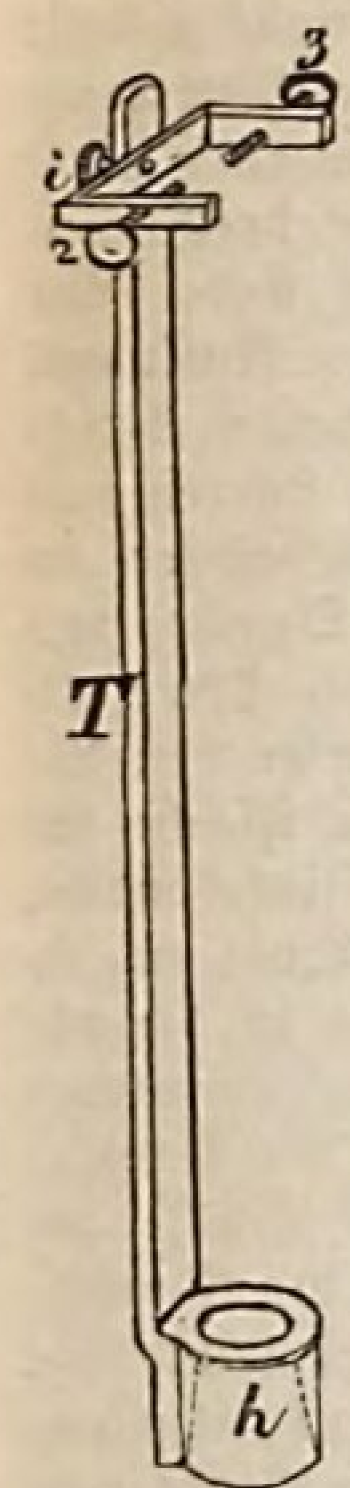


Fig. 657.



gezogen sind. Man befestigt das Papier auf dem Brete so, daß die Linie ab beiläufig in die Richtung der Linie ac des Instrumentes fällt. Hierauf steckt man den in Fig. 657 abgebildeten, mit einer Hülse h versehenen, etwa 6 Zoll langen Träger T auf den Zapfen c des Instrumentes und zwar über die Hülse h_1 (II. Fig. 646) des Lineals cb, die von außen ebenfalls konisch gearbeitet ist, so daß die Hülse h des Trägers T darüber paßt und durch Reibung an derselben festhält, daher dieser Träger bei Drehung des Lineals bc um den Zapfen c sich gleichfalls um die Axe dieses letzteren dreht. Am oberen Ende des Trägers befindet sich eine mittelst einer Schraube i befestigte Gabel, deren beide Arme mit Schrauben 2, 3 versehen sind. Ein zweiter Träger (Figur 658), der unten eine Schraubenmutter m hat, welche auf die Schraube s des Zapfens c (I und II Fig. 646) paßt, ist am obern Theile mit dem Stücke kl versehen, welches durch zwei Stellschrauben 1, 2 festgehalten wird, so daß es mittelst zweier Schlitze, durch welche diese Schrauben gehen, auf und nieder geschoben werden kann. Dieses Stück läuft am obern Ende in eine Gabel (I Fig. 659) aus, deren beide Arme 1, 2 mit Schrauben versehen sind, welche eine zweite bewegliche Gabel g festhalten. Dieser zweite Träger t wird auf die Schraube s des Zapfens c aufgeschraubt, so daß die horizontale Gabel desselben die nämliche Stellung hat, wie die Gabel des Trägers T (Fig. 657), und unter ihr sich befindet. Diese untere Gabel ist dazu bestimmt, um das untere, unbewegliche Prisma A (Fig. 655) mit etwas Wachs an den Seiten und an dem Rücken zu befestigen. Es wird so darauf gelegt, daß die brechende Kante desselben gegen das Bret F (Fig. 646) hin steht, und die Gabel, auf welcher es liegt, wird so gestellt, daß seine obere Fläche beiläufig horizontal ist. Auf diese horizontale Fläche wird nun das Flintglasprisma B (Fig. 655) so gelegt, daß dessen brechende Kante gegen das Diopter a des Instrumentes gekehrt ist. Beide Träger, wie sie auf die Hülse h (Fig. 657) des Zapfens c aufgesetzt sind, und die Lage der zwei Prismen sieht man bei II in Fig. 659. Der Träger T berührt mit seinen Gabelschrauben (2, 3 Fig. 657) das Flintglasprisma. Bevor jedoch die Auflegung dieses Prismas auf das untere erfolgt, muß letzteres erst gehörig adjustirt werden. Dieses geschieht, indem man durch das untere Prisma hindurch auf die Linie ab (Fig. 656) visirt und zugleich dieselbe Linie mit freiem Auge betrachtet, (zu welchem Ende die eine Hälfte der Pupille auf das Prisma und die andere Hälfte auf die freie Linie gerichtet wird). Wenn beide Linien, nämlich die durch das Prisma und die frei gesehene, nur eine einzige gerade, ununterbrochen fortlaufende Linie ausmachen, so hat das Prisma die richtige Stellung; es steht dann dessen brechende Kante senkrecht auf der Linie ab. Ist dies aber nicht der Fall, sondern laufen beide Linien parallel neben einander, so wird der Träger mit dem Prisma (A) ein wenig gedreht, bis das genaue Zusammenfallen der beiden Linien erfolgt. Die obere Fläche dieses Prismas, wenn sie verlängert gedacht wird, muß ferner die Linie ab auf der Papierfläche unter einem rechten Winkel schneiden, oder mit andern Worten, die brechende Kante des Prismas muß mit der Papierfläche parallel sein. Ist dieses nicht der Fall, so machen die beiden Linien (die durchs Prisma und die frei gesehene), wenn sie auf einander fallen, einen Winkel mit einander und dann hat man das Prisma an der einen, oder andern Seitenkante etwas zu heben oder niederzudrücken, bis die zwei Linien ihrer Länge nach einander vollkommen decken. Durch diese beiden Adjustirungen erhält man die Versicherung, daß die brechende Kante des Prismas A sowohl die Linie ab unter rechten Winkeln schneidet, als auch, daß sie mit der Papierfläche parallel, daß sie folglich mit den senkrechten Linien mn, $m_1 n_1$ ... dieser Fläche parallel ist. Nun erst findet das vorbesagte Auflegen des zweiten Prismas auf das erste so Statt, daß ersteres zwischen die obere Gabel (des Trägers T) zu stehen kommt und von deren Schrauben 2, 3 beinahe berührt wird. Es darf jedoch zwischen ihnen nicht eingezwängt werden, damit es sich auf die früher angegebene Weise drehen läßt und durch das eigene Gewicht an seiner untern Fläche mit der obern Fläche des Prismas A stets in Berührung bleibt. Man visire nun durch die beiden Prismen hindurch auf die Linie ab der

Fig. 656.

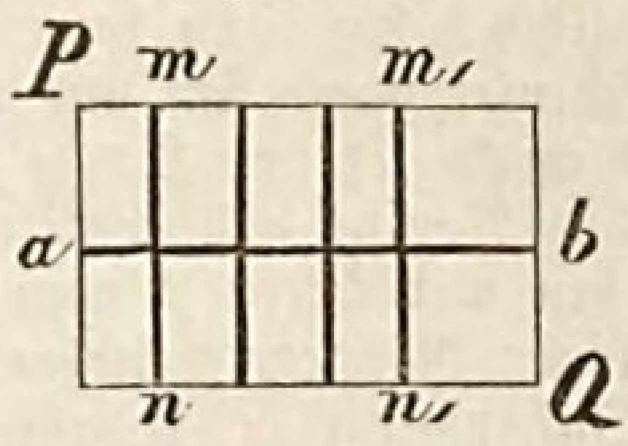


Fig. 658.

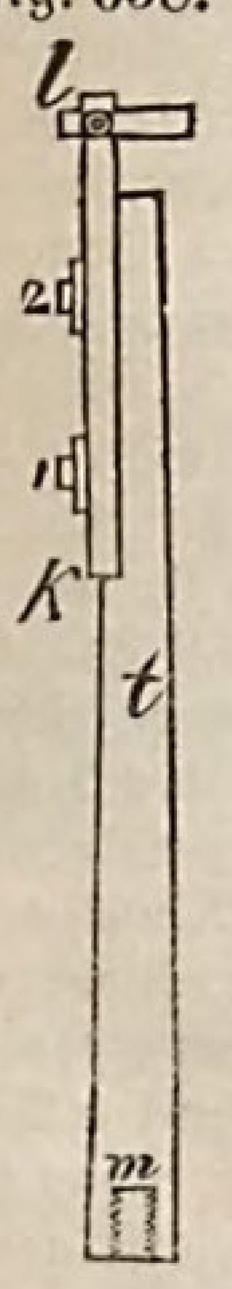
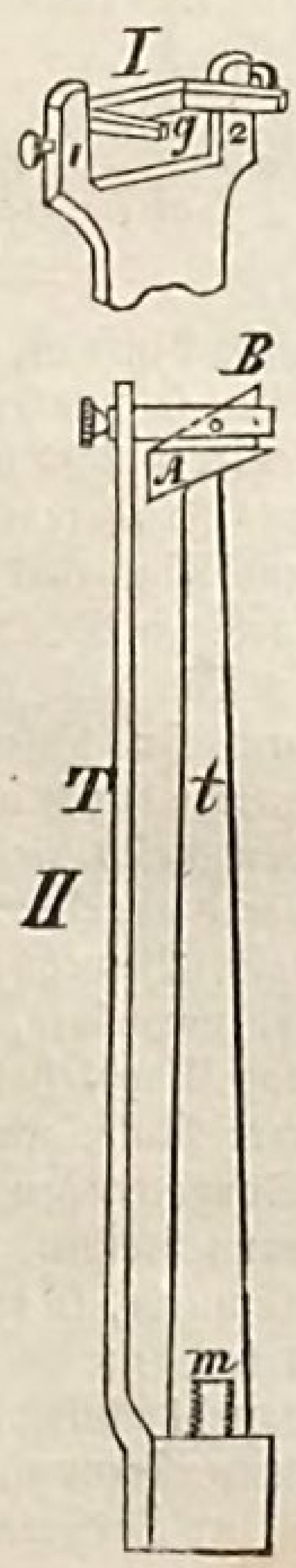
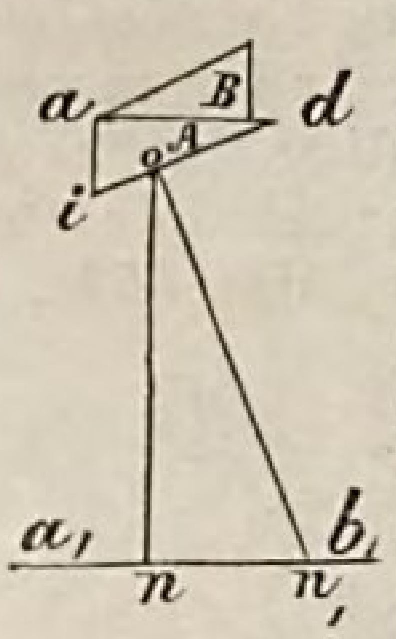


Fig. 659.



Papierfläche in derselben Art, wie vorher durch das untere Prisma allein und rücke das Lineal mit dem Diopter b, welches zuvor auf das Diopter a oder etwas über dasselbe hinaus gestellt worden, nach der Seite A des Instrumentes hin so lange vorwärts, bis die frei gesehene Linie ab und das durch die Prismen gesehene Bild derselben wieder eine einzige fortlaufende Linie bilden, wo dann beide Prismen so übereinander stehen, daß die Kanten ihrer brechenden Winkel unter sich und mit den Linien m n, $m_1 n_1$ . . . der Papierfläche parallel sind. Man bemerkt jetzt die Grade und Minuten, welche bei dieser Lage des Lineals durch den Nullpunkt des Nonius abgeschnitten werden. Die bei diesem Stande der Dinge durch die beiden Prismen betrachteten Linien m n, $m_1 n_1$, . . . erscheinen auf jeder ihrer Seiten mit starken farbigen Rändern versehen, und zwar ist immer an der linken Seite, wenn der Beobachter am Instrumente bei B steht, folglich das Lineal c b mit der linken Hand führt, Orange und Roth, hingegen an der rechten Seite Blau und Violet vorhanden, während die Linie a b ganz farblos erscheint. Man bezeichne sich (was schon vorher geschehen kann) unter den Linien m n, $m_1 n_1$, . . . diejenige, von welcher eine gerade Linie, bis zur untern Fläche des Prismas A gezogen, mit dem senkrechten Träger dieses Prismas beiläufig einen Winkel macht, welcher dem brechenden Winkel dieses Prismas gleich ist. Es habe z. B. die Linie $m_1 n_1$ eine solche Lage, so treten dann die von derselben kommenden Strahlen senkrecht in die untere (schiefe) Fläche des Prismas A ein, was bei der nachfolgenden Rechnung vorausgesetzt wird. Man braucht daher, wie in Fig. 660, wo $a_1 b_1$ den Durchschnitt der Papierfläche, n_1 o eine von der Linie $m_1 n_1$ dieser Fläche auf die untere Fläche des Prismas A gezogene Senkrechte und o n ein vom Punkte o auf die Papierfläche gefälltes Perpendikel vorstellt, nur dieses Perpendikel zu messen und für dieses, als Halbmesser genommen, den Werth der Tangente für den (mit n o n_1 gleichen Winkel a d i des untern Prismas aufzusuchen, welche die Linie n n_1 ist, damit man die Größe n n_1 erhält, um welche die Linie $m_1 n_1$ (Fig. 656) — von der die Strahlen auf die untere Fläche des Prismas A senkrecht auffallen, wenn dessen obere Fläche horizontal oder mit der Papierfläche parallel ist. — von dem Träger dieses Prismas oder von dem Zapfen c des Instrumentes entfernt liegt. Ist z. B. der brechende Winkel von $A = 30^0$, daher dessen Tangente für den Halbmesser $1 = 0{\cdot}57$, ferner die Länge des Perpendikels $on = 6$ Zoll, so hat man $1 : 0{\cdot}57 = 6'' : nn_1$, somit $nn_1 = 6'' \times 0{\cdot}57 = 3{\cdot}42''$. Die nämliche Linie $m_1 n_1$ wird auch bei der nachfolgenden Beobachtung im Auge behalten. Nachdem nun alles so vorbereitet ist, rückt man das Lineal c b des Instrumentes auf den Gradbogen A E des letzteren langsam weiter fort. Bei diesem Fortrücken dreht sich das obere Prisma B, da, wie aus Früherem bekannt ist, der Träger T desselben auf der Hülse h des Zapfens c (II Fig. 646 und Fig. 657) mit Reibung aufsitzt, und in dem Maße dieses Drehens vermindern sich die farbigen Ränder der Linie $m_1 n_1$ immer mehr, bis sie bei einer bestimmten Stellung des Lineals endlich ganz verschwinden, so daß die beiden Grenzen dieser schwarzen Linie völlig weiß erscheinen. In dieser Stellung läßt man das Lineal stehen und lies't die Grade und Minuten ab, welche durch den Nullpunkt seines Nonius auf dem Gradbogen abgeschnitten werden. Zieht man von diesen die Anzahl der Grade und Minuten ab, welche bei der früheren Stellung des Lineals abgelesen worden sind; so erhält man die Größe des auf S. 730 mit M bezeichneten Winkels. Bewegt man, nachdem die Farben gänzlich verschwunden sind, das Lineal noch etwas weiter vorwärts, so kommt auf der rechten Seite Gelb und auf der linken Seite Blau, also gerade das Umgekehrte mit dem Früheren, zum Vorschein. Die Beobachtungen wiederholt man mehrere Male, um für den Winkel M einen genauen mittleren Werth zu erhalten. Man muß dabei Sorge tragen, daß die horizontalen Flächen der beiden Prismen mit einander stets in Berührung bleiben. Wäre nun für die Glasarten der beiden Prismen das Brechungsverhältniß das nämliche, so würde durch den gefundenen Winkel M auch das Zerstreuungsverhältniß dieser Glasarten gegeben sein. Denn da der brechende Winkel des Flintglasprismas B, mit dem Cosinus von M multiplizirt, jenen Winkel gibt, welchen dieses Prisma haben muß, damit es die Farbenzerstreuung des Prismas A aufhebt (S. 730); so verhält sich die Zerstreuung des Prismas B zur Zerstreuung des Prismas A, wie der brechende Winkel von A zu B × cos. M, folglich wäre das Zerstreuungsverhältniß der beiden Gläser $= \frac{B \times \cos. M}{A}$ (S. 730), wenn A und B die ursprünglichen brechenden Winkel der zwei Prismen A und B bedeuten. Allein der Umstand, daß das Brechungsvermögen dieser Prismen immer verschieden ist, wenn ihr Zerstreuungsvermögen bedeutender differirt, obgleich beide Vermögen einander nicht proportional sind (S. 666), macht eine umständlichere Rechnung nöthig. Bezeichnet man den Brechungsexponenten des Crownglasprismas A mit n, jenen des Flintglasprismas mit N, den brechenden Winkel des ersteren Prismas wie vorhin mit A, jenen des Prismas B mit B; so ist das Zerstreuungsver-

Fig. 660.



hältniß der beiden Glasarten $= \frac{n(N-1)}{N(n-1)} \left[1 - \frac{\text{tang.}(a-b)}{\text{tang. } a}\right]$, in welcher Formel $a = \frac{n \sin. A}{N}$ und $b = B \cos. M$ ist. Hat man daher durch Beobachtungen mittelst des Instrumentes die Werthe von n, N, A, B und M gefunden; so läßt sich dann mit Logarithmen aus obiger Formel ohne Schwierigkeit das Zerstreuungsverhältniß berechnen. Die Genauigkeit der Resultate, welche man mit dem beschriebenen Instrumente erhält, hat sein Erfinder durch vielfältige Versuche bewährt gefunden.

332. Nähere Betrachtung der den Lichterscheinungen als Ursache zu Grunde liegenden Wellenbewegungen. Diese Betrachtung muß vorausgeschickt werden, bevor wir die bisher abgehandelten Lichterscheinungen nach den Prinzipien der Vibrationshypothese erklären und um die noch in Betracht zu ziehenden Lichtphänomene auf verständliche Weise abhandeln zu können. Dem Wesen der Vibrationshypothese gemäß (**282**) befindet sich ein jeder leuchtende Körper, ähnlich einem schallenden, in einer stehenden Schwingung. Die Schwingungen, welche jedoch viel rascher und schneller nacheinander folgen, als bei den schallenden Körpern, und durch uns völlig unbekannte Ursachen angeregt werden, erzeugen, so wie dies die Schwingungen der letztgenannten Körper in der Luft oder einem andern Schallmittel thun, im Aether nach allen Seiten hin fortschreitende Wellen, welche, wenn sie an unser Auge gelangen, die Empfindung des Sehens hervorrufen. Man wird von dem Entstehen und dem Wesen, so wie von dem Fortschreiten dieser Lichtwellen auf folgendem Wege im Allgemeinen eine hinreichende Vorstellung bekommen. Sind a, b, c, d . . . (Fig. 661) an einem leuchtenden Körper gelegene Aetherteilchen und man denkt sich die Theilchen dieses Körpers nach der Richtung xy in hin und her gehender (schwingender) Bewegung; so werden die Aethertheilchen, da sie (nach **282**) mit den Theilchen des leuchtenden Körpers durch anziehende Kräfte zusammenhängen, ebenfalls in Bewegung versetzt, und erfahren bei jedem Hingange der Körpertheilchen in der Richtung von x nach y in dieser und bei jedem Rückgange derselben (von y gegen x) nach der entgegengesetzten Richtung eine Verschiebung, so daß auch sie selbst in Schwingungen gerathen. Da aber diese Theilchen (a, b, c, d . . .) wieder mit den angrenzenden Aethertheilchen und überhaupt alle Theilchen des Aethers unter einander durch Abstoßung und vielleicht auch durch Anziehung (**282**) zusammenhängen, so wird die schwingende Bewegung von den Theilchen a b, c, d... auf die zunächst liegenden Aethertheilchen a′, b′, c′, d′ . . . von diesen wieder auf die weiter entfernten a″, b″, c″, d″ . . . u. s. f. übertragen, und so successive . . . (†) und zwar, da der besagte Zusammenhang nach allen Richtungen hin stattfindet, nach allen Seiten fortgepflanzt. Offenbar geschieht die Fortpflanzung dieser Bewegung im Aether nach einer Richtung (von einem Theile zum nächsten u. s. f.) ganz in ähnlicher Weise, wie in einer gespannten Saite das Fortschreiten der, einem Theile derselben senkrecht auf ihre Länge ertheilten Bewegung in der Richtung dieser Länge (S. 332), da eben so, wie dieses Fortschreiten in seiner Art durch die Elasticität der Saite und den Zusammenhang der Theile der letzteren, auch die besagte Fortpflanzung im Aether durch die Elastizität des Aethers und die Wirkung seiner Theilchen auf einander bedingt wird. Demnach schwingen alle Aethertheilchen, welche im Ruhezustande in einer geraden Linie **AB** (Figur 662) liegen, während die Bewegung im Aether von Theilchen zu Theilchen längst **AB** fortschreitet, nach auf dieser Linie senkrechten Richtungen, so daß die

Fig. 661.

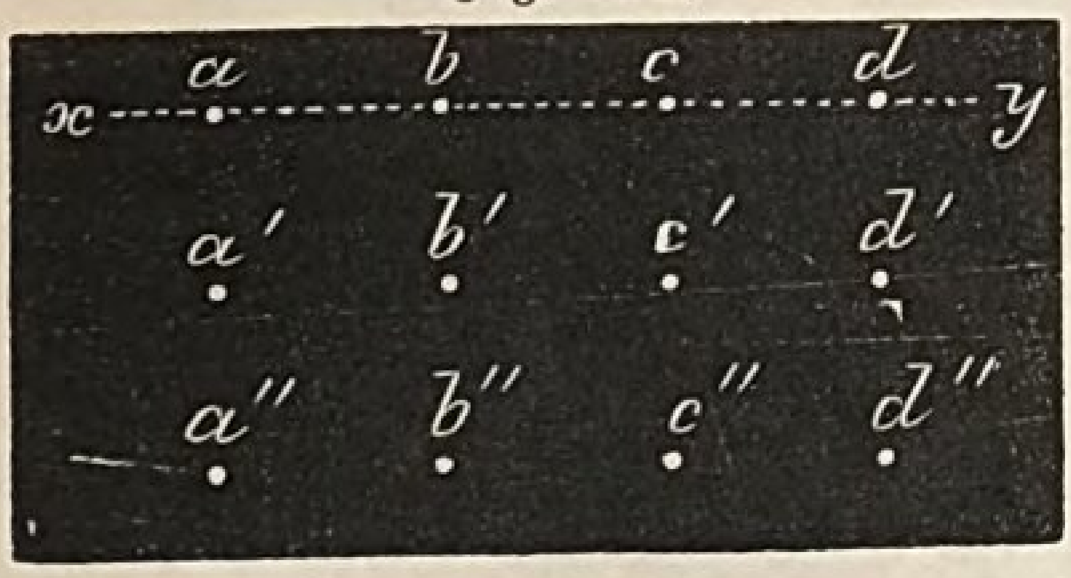
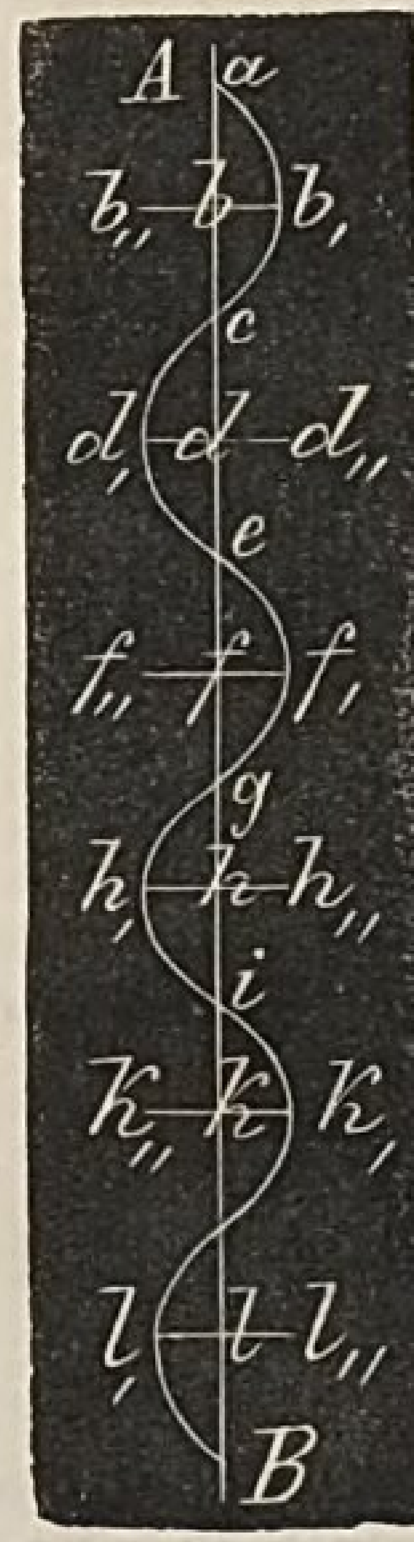


Fig. 662.



Curve $ab_1\ cd_1\ ef_1\ gh_1$ ... eben so, wie sie die Gestalt darstellt, welche eine, transversale Schwingungen fortpflanzende Saite in einem gewissen Momente hat, auch die gegenseitige Stellung repräsentirt, in der sich die Aethertheilchen während des besagten Fortschreitens der Bewegung in der Richtung von **A** nach **B** in einem bestimmten Augenblicke befinden. Die Aethertheilchen schwingen also transversal d. h. senkrecht auf die Richtung, nach welcher diese Bewegung in oben unter (†) angegebener Weise von einem solchen Theilchen zum nächst liegenden fortgepflanzt wird, und welche das ausmacht, was man einen *Lichtstrahl* nennt. Die größte Entfernung, bis zu welcher ein schwingendes Theilchen aus seiner ursprünglichen Ruhelage heraustritt, heißt die *Schwingungsweite* oder *Amplitude*. (So sind z. B. bb_1, dd_{11} und dd_1, bb_{11} die Amplituden der Aethertheilchen b und d.) Jedes Aethertheilchen schwingt stets in einer, der doppelten Amplitude gleichen Bahn (z. B. das Theilchen b immer zwischen den Punkten b_1 und b_{11}, das Theilchen d zwischen d_1 und d_{11} u. s. w.) hin und her. Jeder solche Hin- und Hergang (z. B. von b nach b_1, von b_1 nach b_{11} und von b_{11} nach b zurück oder auch von b_1 nach b_{11} und wieder nach b_1 zurück) bildet eine *Schwingung*. Der Bewegungszustand, welcher dem schwingenden Theilchen an irgend einer Stelle seiner Bahn eigen ist, wird die dieser Stelle entsprechende *Schwingungsphase* genannt, und jede einzelne Phase wird durch die Größe und Lage des Abstandes, in welchem sich das Theilchen, im Verhältniß zu seinem Ruhepunkte in **AB** an der betreffenden Stelle befindet und durch die Größe und Richtung seiner Geschwindigkeit daselbst bestimmt. Die Zeit, während welcher ein Aethertheilchen alle ihm möglichen verschiedenen Schwingungsphasen durchmacht (eine ganze Schwingung vollendet) ist die *Schwingungsdauer*, und Phasen, welche von einander um eine halbe Schwingung abstehen, nennt man *entgegengesetzte Phasen*. In diesen erscheint das Theilchen in gleichen Abständen von der Ruhestelle, aber auf entgegengesetzten Seiten der letzteren und hat gleiche Geschwindigkeiten, jedoch im entgegengesetzten Sinne. Es ist nach der Analogie mit den Transversalschwingungen der Theilchen gespannter Saiten nun für sich einleuchtend, daß die schwingenden Aethertheilchen an den Enden (z. B. b_1, b_{11}, d_1, d_{11} u. s. w.) ihrer Schwingungsweiten die Geschwindigkeit Null haben, daß von da aus die Geschwindigkeit mit der Annäherung an ihre ursprüngliche Ruhelage immer mehr wächst, in dieser Lage selbst ihr Maximum erreicht und über dieselbe hinaus wieder allmälig bis zu Null abnimmt.

Da, wie wir aus **284** wissen, das Licht zur Fortpflanzung eine Zeit braucht so kann der dieser Fortpflanzung zu Grunde liegende Uebergang der schwingenden Bewegung von einem Aethertheilchen auf die folgenden auch nur successive stattfinden, so daß die im Ruhezustande in der Linie **AB** liegenden Aethertheilchen, während der Fortpflanzung des Lichtes in der Richtung **AB** nacheinander zum Schwingen kommen. Es werden also, wenn man sich z. B. die Fortpflanzung von **A** gegen **B** hin vor sich gehend und das Theilchen b in einem bestimmten Momente seine Schwingungen beginnend denkt, alle weiter gegen **B** gelegenen Aethertheilchen später zu schwingen anfangen und zwar um so später, je weiter sie vom Theilchen b nach **B** hin entfernt sind, so daß in der Zeit, in welcher b eine ganze Schwingung vollendet (von b_1 nach b_{11} und wieder nach b_1 zurückgeht), die Bewegung sich bis zu einem Theilchen f fortpflanzt und dieses daher in dem nämlichen Momente seine erste Schwingung beginnt, in welchem b seine zweite anfängt. Eben so wird, während f eine und mithin b die zweite Schwingung macht, die Bewegung bis

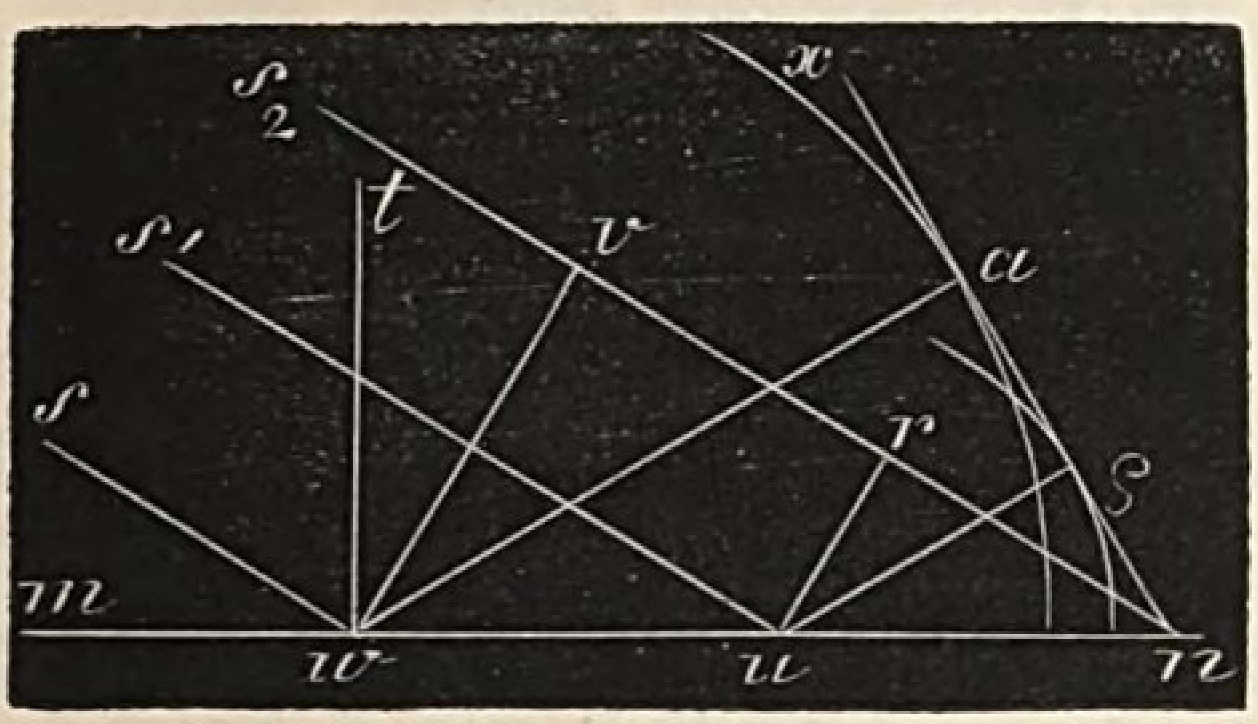
zu einem dritten Theilchen k fortschreiten, und dieses gleichzeitig mit der zweiten Schwingung von f und mit der dritten von b seine erste Schwingung vollenden u. s. f. Von nun an werden die Aethertheilchen b, f und k im nämlichen Zeitmomente in ganz gleichen Schwingungsphasen sich befinden, d. h. sie werden gleichzeitig die nämlichen Abstände von ihrer Ruhelage und auf derselben Seite der letzteren, so wie die nämliche Geschwindigkeit und nach derselben Richtung hin haben. Alle Schwingungsphasen, in welchen sich von einem Aethertheilchen (b) bis zu dem nächsten gleichzeitig in der nämlichen Phase befindlichen Theilchen (f) hin, alle zwischengelegenen Aethertheilchen befinden, bilden zusammen eine Lichtwelle, und die Entfernung der besagten zwei, gleichzeitig in der nämlichen Phase befindlichen Aethertheilchen (b, f) von einander bildet die Länge der Lichtwelle. Die Schwingungsphasen des in der Mitte zwischen b und f d. h. von b und f um eine halbe Wellenlänge entfernt liegenden Aethertheilchens d sind jenen (den Phasen) der Theilchen b und f stets entgegengesetzt, und es wird in dem Augenblicke, wo b und f auf der rechten Seite von **AB** am Ende ihrer Schwingungsamplituden anlangen, das Theilchen d links von **AB** seine größte Abweichung von der Ruhelage erreichen. Offenbar gilt dasselbe wie von d auch von dem Theilchen h u. s. w.; es steht daher folgender Satz fest: Aethertheilchen, die in der Fortpflanzungsrichtung eines Lichtstrahles um eine ganze Wellenlänge oder um irgend ein Vielfaches einer ganzen Wellenlänge von einander abstehen, befinden sich stets in gleichen, und Aethertheilchen, deren Abstände von einander eine halbe Wellenlänge oder irgend ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge betragen, befinden sich immer in entgegengesetzten Schwingungsphasen. . . . . (167)

Die Schwingungen jedes Theilchens eines leuchtenden Körpers pflanzen sich durch den Aether in der auseinandergesetzten Weise nach allen Seiten hin, und wenn die Elastizität des Aethers ringsherum dieselbe ist, mit gleicher Geschwindigkeit fort, so daß alle Aethertheilchen, — die rings um ein schwingendes Theilchen des besagten Körpers und gleichweit davon (von dem schwingenden Theilchen) entfernt, also in der Oberfläche einer Aetherkugel liegen, deren Mittelpunkt das besagte Theilchen bildet, — zu gleicher Zeit und auf gleiche Weise in Bewegung gesetzt werden. Es geht also in diesem Falle (allseitig gleicher Elastizität des Aethers nämlich) von jedem leuchtenden Theilchen eine kugelförmige Aetherwelle aus; bei einem leuchtenden Körper d. i. einem Aggregate leuchtender Theilchen setzen sich die von diesen Theilchen ausgehenden kugelförmigen (Elementar-) Wellen zu einer resultirenden Kugelwelle zusammen (analog dem Hergange bei der Bildung einer resultirenden Welle aus elementaren Schallwellen, wie am Schlusse des Absatzes **159** auf S. 316 gezeigt wurde), die dann, sich immer mehr erweiternd, nach allen Richtungen gleichmäßig fortschreitet. Nach der Theorie der Wellenbewegung in nach allen Seiten hin gleich elastischen Flüssigkeiten resultiren aus Störungen des Gleichgewichtes, wie wir sie bei der Lichtfortpflanzung vorausgesetzt haben, nicht bloß transversale, d. i. auf der Richtung der Lichtfortpflanzung senkrechte, sondern auch longitudinale, d. i. zur besagten Lichtfortpflanzungsrichtung parallele Schwingungen der Aethertheilchen. Hinsichtlich der Wirkung auf das Auge verschwinden jedoch die letzteren (die longitudinalen) im Vergleich mit den ersteren (den transversalen) Schwingungen, so daß bei den Lichterscheinungen nur die letzteren (die transversalen Schwingungen) in Betracht kommen. Diese können aber entweder nach geraden, auf der Richtung der Lichtfortpflanzung d. i. auf dem Lichtstrahle senkrechten Linien und dabei in allen verschiedenen, durch den Lichtstrahl seiner Länge nach hindurch gedachten Ebenen vor sich gehen, und dies ist bei den Strahlen sogenannten gemeinen Lichtes der Fall; oder die in der Richtung eines Strahles gelegenen Aethertheilchen schwingen alle nur nach ge-

raden Linien, die unter einander parallel sind und in einer und derselben, durch den Strahl nach seiner Länge hin gedachten Ebene liegen, ein solcher Srahl heißt dann geradlinig polarisirt. Eine Ebene, auf welcher die Schwingungsrichtungen (im letzteren Falle) senkrecht stehen, welche also der Richtung des Strahles parallel ist und gegen die Ebene, worin die Schwingungen erfolgen, senkrecht steht, ist das, was wir in der Folge Polarisationsebene nennen werden. Endlich können die besagten Aetherttheilchen auch in kreisförmigen oder elliptischen Bahnen schwingen und dann heißen die Lichtstrahlen kreisförmig (circular) oder elliptisch polarisirt. Ferner soll hier vorläufig noch Folgendes angeführt werden. So wie die Anzahl der in bestimmter Zeit stattfindenden Schwingungen bei den Tönen die Höhe bestimmt, eben so hängt nach der Vibrationshypothese von dieser Anzahl, mithin von der Schwingungsdauer des leuchtenden Theilchens oder der in der Richtung des Strahles gelegenen Aetherttheilchen die Farbe dieses Strahles ab ... (†). Für die verschiedenfarbigen Strahlen ist überdieß auch die Wellenlänge nicht gleich: so wie die längste Schwingungsdauer, so kommt auch die größte Wellenlänge dem rothen Lichte zu; von diesem nehmen beide (Schwingungsdauer und Wellenlänge) gegen das violete Licht hin stets ab und diesem entspricht die kürzeste Welle und die kürzeste Schwingungsdauer. Die Wellenlänge beträgt in Hunderttausendtheilen eines Pariser Zolles für den äußersten rothen Strahl 2·422 und für den äußersten violeten 1·464. Die Intensität des Lichtes wird durch die Schwingungsweite und durch die derselben proportionale Schwingungsintensität bestimmt; sie steht mit dem Quadrate der letzteren im geraden Verhältnisse. Die dem weißen Lichte zu Grunde liegende Welle ist die Resultirende aus sämmtlichen den farbigen Theilen desselben entsprechenden Wellen. Hat in einem Körper, an welchen eine Lichtwelle trifft, der Aether die nämliche Elastizität, wie in dem Mittel, aus welchem die Welle kommt, so geht diese ohne Aenderung der Richtung und Geschwindigkeit durch den Körper durch und derselbe erscheint durchsichtig. Letzteres ist aber auch dann noch der Fall, wenn zwar die Elastizität des Aethers im besagten Körper eine andere ist als in dem früheren Mittel, jedoch eine ungestörte Fortpflanzung regelmäßiger Schwingungen stattfinden kann. Es wird diese dann wohl in einer andern Richtung und mit einer andern Geschwindigkeit in dem Körper erfolgen, dieser wird aber durchsichtig erscheinen. Die Undurchsichtigkeit eines Körpers hat nach der Undulationshypothese in der Unfähigkeit desselben, die an ihn treffenden Aetherwellen ungestört durch sich hindurch fortzupflanzen, ihren Grund.

333. Erklärung der Reflexion und der Brechung des Lichtes nach der Undulationstheorie. Wenn eine Lichtwelle an einem Mittel anlangt, worin der Aether eine größere oder geringere Elastizität hat, als in dem vorhergehenden Mittel, (welches die Welle bis dahin fortpflanzte), so geht eine Theilung der Wellenbewegung vor sich; eine Welle tritt in das neue Mittel ein, eine zweite Welle kehrt in dem vorhergehenden Mittel zurück, erstere begründet die Reflexion, letztere die Brechung des Lichtes. Hierbei findet nicht bloß eine für sich einleuchtende Aenderung in der Intensität, sondern auch eine Aenderung in der Richtung des Lichtes Statt; sowohl die Richtung des in dem neuen Mittel fortschreitenden als des im vorhergehenden Mittel zurückkehrenden (reflectirten) Strahles ist von der Richtung des an der Trennungsfläche beider Mittel anlangenden Strahles verschieden. Wir wollen zuerst den reflectirten Antheil (die in dem früheren Mittel zurückkehrende Welle) näher betrachten. Ist **mn** (Fig. 663) die Grenzfläche zweier Mittel, **wv** ein so kleiner Theil der Oberfläche einer an **mn** anlangenden Lichtwelle, daß er als eben (im Durchschnitte als geradlinig) betrachtet werden kann, und ist die Lichtquelle, von welcher die Welle herkömmt, so weit entfernt, daß die Strahlen s, s_1, s_2... sich als unter einander parallel

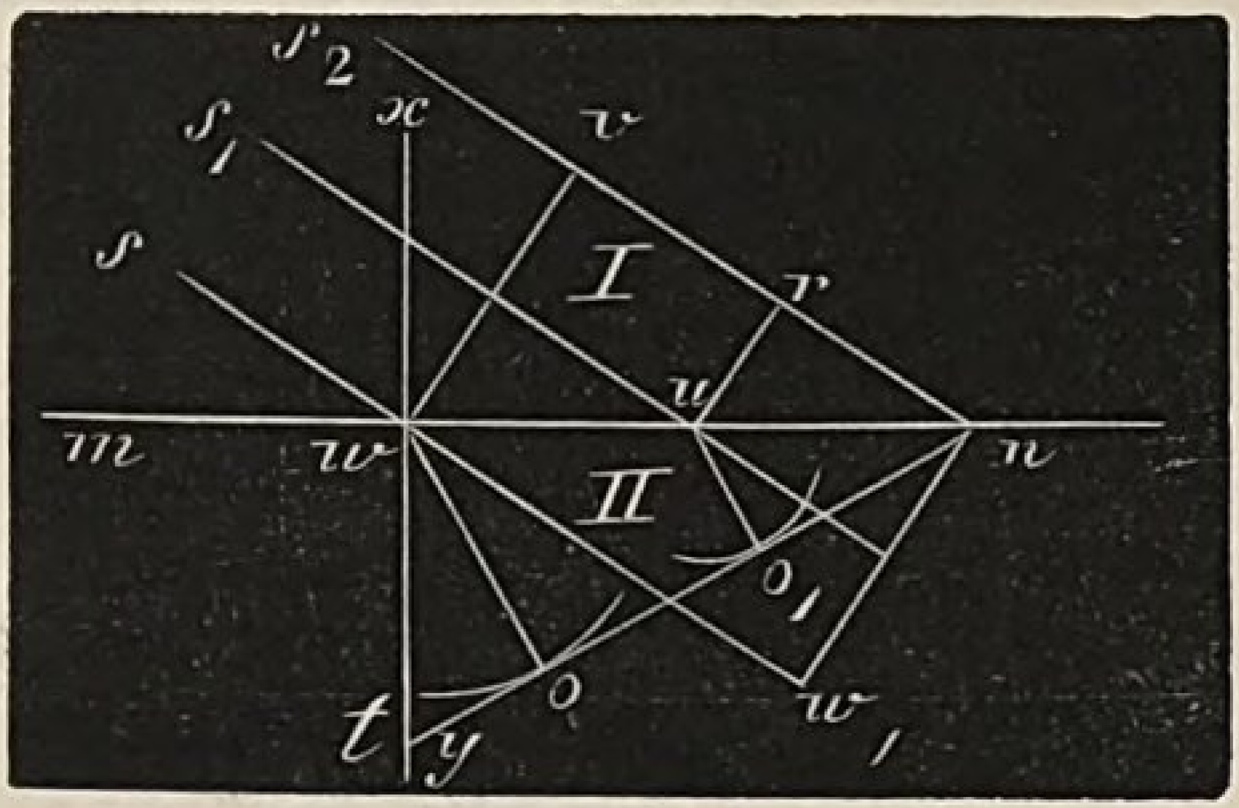
Fig. 663.



ansehen lassen, so wird das Aethertheilchen an dem Punkte w des (neuen Mittels), welches der Strahl s zuerst trifft (und das Gleiche geschieht mit allen in der Grenzfläche dieses Mittels gelegenen Aethertheilchen, welche nach und nach von der Welle getroffen werden) in Schwingungen versetzt, welche sich nach allen Seiten hin fortpflanzen, so als ob w selbst ein leuchtender Punkt wäre. Wir wollen nur die Schwingungen, die sich ins alte Mittel zurückfortpflanzen und die daraus resultirende, in dieses Mittel von w aus zurückgehende sphärische Welle ins Auge fassen. Indem die ebene Welle wv weiter fortschreitet, trifft sie die Fläche mn später in u und endlich in n. Während der Zeit, die bis zu diesem Eintreffen in n verfließt, pflanzt sich die besagte, von w ausgehende sphärische Welle in dem alten Mittel so weit fort, daß ihr Halbmesser wa dem Wege vn gleich ist. Zieht man ur parallel zu wv, so wird offenbar die von u aus gleichem Grunde wie von w aus ins frühere Mittel zurückgehende sphärische Welle in der nämlichen Zeit sich so weit verbreitet haben, daß ihr Halbmesser uρ gleich rn ist. Auf ganz gleiche Weise werden von allen zwischen w und n gelegenen Punkten spärische Elementarwellen ausgehen, und eine alle diese Elementarwellen gleichzeitig berührende Fläche wird die resultirende, von mn **reflektirte** Welle darstellen. Da nun, wegen Aehnlichkeit der Dreiecke wvn und urn, wn:un = vn:rn, ferner, dem Vorstehenden gemäß, vn = wa und rn = uρ ist, so folgt auch wn : un = wa : uρ; es ist daher die Fläche (nx), welche die von allen zwischen w und n gelegenen Punkten ausgehenden sphärischen Elementar-Wellen berührt, eine **ebene** Fläche, auf welcher die Richtungen (wa, uρ u. s. w.), nach denen die Schwingungen der Aethertheilchen in das alte Mittel zurück fortschreiten d. i. alle reflektirten Lichtstrahlen senkrecht stehen. Da demnach die Dreiecke wvn und wan congruent sind, indem die Seite wn ihnen gemeinschaftlich, vn = wa und der Winkel wvn = wan = 90 ist; so folgt, daß auch die dritten Seiten wv und na und eben so die denselben gegenüberliegenden Winkel swm (= vnw wegen Parallelismus der Linien sw = s_2n) und awn einander gleich sind, und hieraus folgt wieder die Gleichheit der Winkel twa und swt, welche der einfallende Strahl (sw) und der reflektirte (wa) mit dem das Einfallsloth darstellenden Perpendikel wt machen und welche die gleichen Winkel awn und swm zu 90° ergänzen. Es ist somit das Hauptgesetz der Reflexion des Lichtes (man sehe S. 608) nach den Prinzipien der Vibrationshypothese dargethan.

Auf ganz ähnliche Weise ergibt sich nach denselben Prinzipien auch das Hauptgesetz der einfachen Brechung des Lichtes, wie folgt. Es sei abermals wv (Fig. 664) die Lage, welche die an die Grenzfläche mn der heterogenen Mittel treffende ebene Welle in einem bestimmten Momente hat. Es wird da wieder w der Mittelpunkt einer Wellenbewegung, welche nicht nur in eben vorher auseinander gesetzter Art in dem früheren Mittel (oberhalb mn), sondern auch in dem neuen Mittel (unterhalb mn) sich verbreitet, so daß sich in diesem von w aus eine sphärische Aetherwelle, nach allen Seiten hin sich immer mehr erweiternd, fortpflanzt. Da aber in dem neuen Mittel, wie oben vorausgesetzt worden, die Elastizität des Aethers von jener im andern Mittel verschieden ist; so ist auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in beiden Mitteln ungleich. (Die besagte Verschiedenheit der Elastizität des Aethers in beiden Mitteln wird durch die Anziehung begründet, die zwischen den Aethertheilchen und den Molekeln der Körper stattfindet, und bei

Fig. 664.



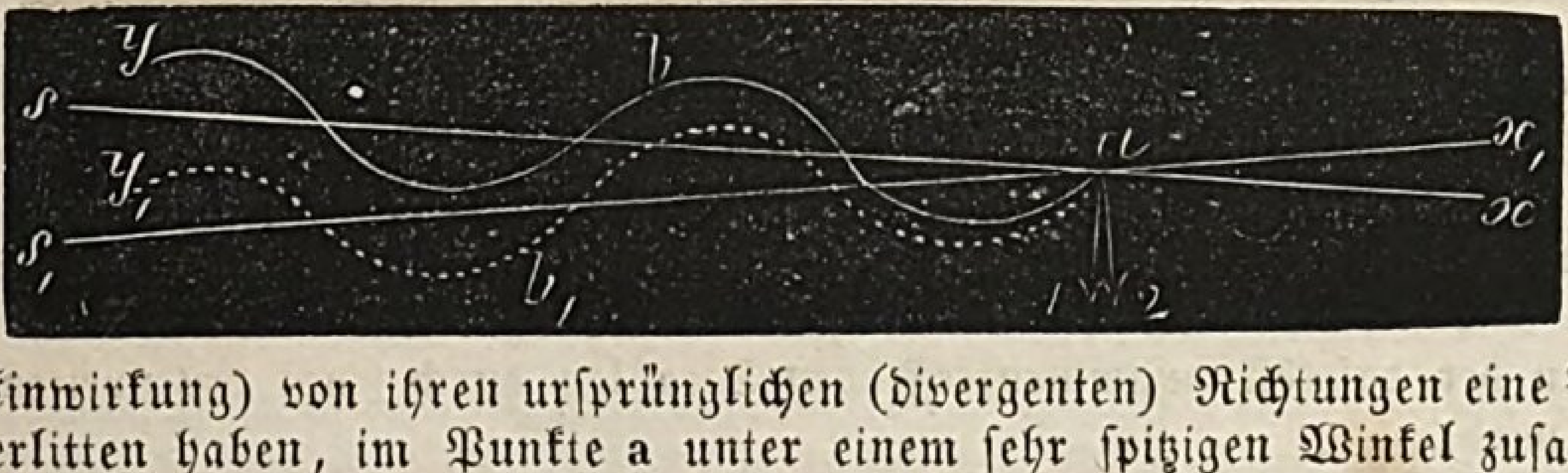
Körpern ungleicher Beschaffenheit verschieden ist, so daß daraus eine Verschiedenheit in der Dichte und Elastizität des Aethers resultirt). Könnte die ebene Welle w v im Mittel II sich mit der nämlichen Geschwindigkeit wie im Mittel I fortpflanzen, so würde sie, sich stets parallel bleibend, weitergehen und in der Zeit, in welcher der Punkt v derselben nach n kommt, in die Lage w_1 n gelangen. Ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Mittel I aber von jener in II verschieden, so daß beide Geschwindigkeiten in einem bestimmten konstanten Verhältnisse, z. B. a : b, daher $1 : \frac{b}{a}$ oder 1 : n stehen, wenn $\frac{b}{a} = n$ gesetzt wird; so werden in der besagten Zeit die von w, von u und von allen zwischen w und n gelegenen Punkten der Grenzfläche beider Mittel, mit welchen die besagte ebene Welle nach und nach in Berührung kommt, ausgehenden, in dem Mittel II fortschreitenden sphärischen Elementarwellen bis zur Oberfläche einer Kugel gelangen, deren Halbmesser zu vn im Verhältnisse n : 1 steht, welche die im Mittel fortschreitende resultirende Welle (die gebrochene Welle) darstellt und in der dem Wellenstücke w n korrespondirenden Ausdehnung (die nur allein hier in Betracht kommt) gleichfalls als eben angesehen werden kann. Es bezeichne die Gerade o n diese Ausdehnung der gebrochenen Welle, (die Berührungsfläche aller erwähnten Elementar-Wellen) und w o den Halbmesser der gebrochenen Welle, so daß dem Vorstehenden gemäß wo : vn = n : 1 ist . . . . (1). Man ziehe durch den Punkt w die zur Grenzfläche m n Senkrechte x y, und verlängere o n bis zum Zusammentreffen mit x y, z. B. im Punkte t. Da nun s_2 v als Richtung eines Strahles auf w v, einem Theil der Kugelwelle, senkrecht steht. . . (2), (indem jeder zu letzterer gehörige Strahl die Richtung eines Halbmessers derselben hat); so ist w v n ein rechtwinkeliges Dreieck und mithin vn = wn sin. vwn . . . (3). Da ferner eben aus dem unter (2) angegebenen Grunde der Winkel w o n im Dreiecke o w n ein Rechter ist, so hat man auch wo = wn. sin. wno . . . (4), und es ergibt sich daher aus (3) und (4) vn : wo = sin. vwn : sin. wno . . . (5). Wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke w n o und t w o [indem nach den Lehren der Geometrie die Dreiecke (w n o und t w o), in welche ein rechtwinkliges Dreieck (t w n) zerlegt wird, wenn man aus dem Scheitel des rechten Winkels (t w n) auf die Hypothenuse ein Perpendikel (w o) fällt, ähnlich sind], ist aber der Winkel wno = dem Winkel two . . . (6), und ferner ist $\angle$ vwn = $\angle$ swx . . . (7), weil swx + xwv = 90°, eben so xwv + vwn = 90°, mithin swx + xwv = xwv + vwn ist, woraus durch beiderseitige Subtraction von xwv sich swx = vwn ergibt. Es geht daher mit Rücksicht auf (6) und (7) die Proportion (5) in vn : wo = sin. swx : sin. two über . . . (8). Nun stellen aber die Linien vn und wo die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in den aneinander grenzenden Mitteln I und II (Fig. 664) vor und diese Geschwindigkeiten stehen nach (1) in einem bestimmten konstanten Verhältnisse, ferner repräsentirt s w x den Einfallswinkel und t w o den Brechungswinkel für den Strahl s w; es stehen demnach und gemäß (8) auch die Sinus dieser Winkel in einem bestimmten konstanten (von der Beschaffenheit der besagten zwei Mittel abhängigen) Verhältnisse, und dies ist das Hauptgesetz der einfachen Brechung des Lichtes (man sehe unter 2. auf S. 631). Es findet daher dieses, in der Erfahrung überall sich bestätigende Gesetz und mithin die einfache Brechung des Lichtes in der Vibrationstheorie volle Rechtfertigung.

Man begreift beim Hinblicke auf (8) und auf die Figur von selbst, daß wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit (wo) im Mittel II, in welches das Licht übergeht, kleiner ist als die Geschwindigkeit (vn) in dem Mittel I, aus welchem es kömmt, auch der Brechungswinkel (two) kleiner als der Einfallswinkel ($swx = yww_1$) sein müsse, mithin für diesen Fall aus der Undulationshypothese sich eine Brechung zum Einfallsloth ergebe; und eben so ist es nun für sich klar, daß bei einem umgekehrten Verhältnisse der besagten Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, wenn nämlich wo größer als vn ist, auch der Brechungswinkel größer als der Einfallswinkel sein muß, also nach der Vibrationstheorie eine Brechung vom Einfallslothe folgt.

Die Farbenzerstreuung ist, wie schon an einem früheren Orte angedeutet wurde, nach der Undulationstheorie die Folge der bei der Brechung vor sich gehenden Zerlegung der die Empfindung der weißen Farbe erzeugenden Welle in Wellen von verschiedener Länge, deren jede im brechenden Mittel mit einer andern, die kürzere Welle mit geringerer und die längere mit größerer Geschwindigkeit, fortschreitet und mithin jede auch in einem andern Grade gebrochen wird.

334. Interferenz des Lichtes. Man versteht hierunter die gegenseitige Einwirkung der Lichtstrahlen auf einander bei ihrem Zusammentreffen. Wenn nämlich zwei gleichartige (von der nämlichen Lichtquelle ausgehende) Strahlen auf verschiedenem Wege dahin kommen, daß sie in eine und dieselbe Gerade zusammenfallen oder sich in einem Punkte unter einem sehr spitzigen Winkel durchkreuzen; so wirken sie, im ersteren Falle ihrer ganzen Länge nach, im letzteren aber bloß an der Durchkreuzungsstelle, verstärkend oder schwächend auf einander ein, so daß die Zusammentreffungsstellen entweder intensiver oder schwächer als durch jeden einzelnen Strahl erleuchtet oder aber auch ganz finster erscheinen, also durch Hinzufügung von Licht zu Licht, Dunkelheit, ja sogar Finsterniß erzeugt werden kann. Dieses merkwürdige Resultat findet nicht nur leicht und einfach seine Erklärung in der Undulationstheorie, sondern läßt sich nur allein nach dieser Theorie erklären, und bildet, da sich auf die Interferenz des Lichtes eine große Zahl der interessantesten und wichtigsten Phänomene, die sonst unerklärt bleiben würden, zurückführen lassen, eines der kräftigsten Argumente für die Vibrationshypothese. Nach dieser Hypothese erfolgt nun die besagte gegenseitige Verstärkung, Schwächung oder gänzliche Aufhebung der Lichtstrahlen an den Zusammentreffungsstellen, je nachdem auf die Aetherteilchen dieser Stellen gleichzeitig übereinstimmende oder nicht übereinstimmende Schwingungsphasen übertragen werden. Zur Erläuterung dessen seien sx und $s_1 x_1$ (Fig. 665) zwei Lichtstrahlen, welche von einer und derselben Lichtquelle herkommen, aber, nachdem sie irgendwo (durch Reflexion, Brechung oder eine an-

Fig. 665.

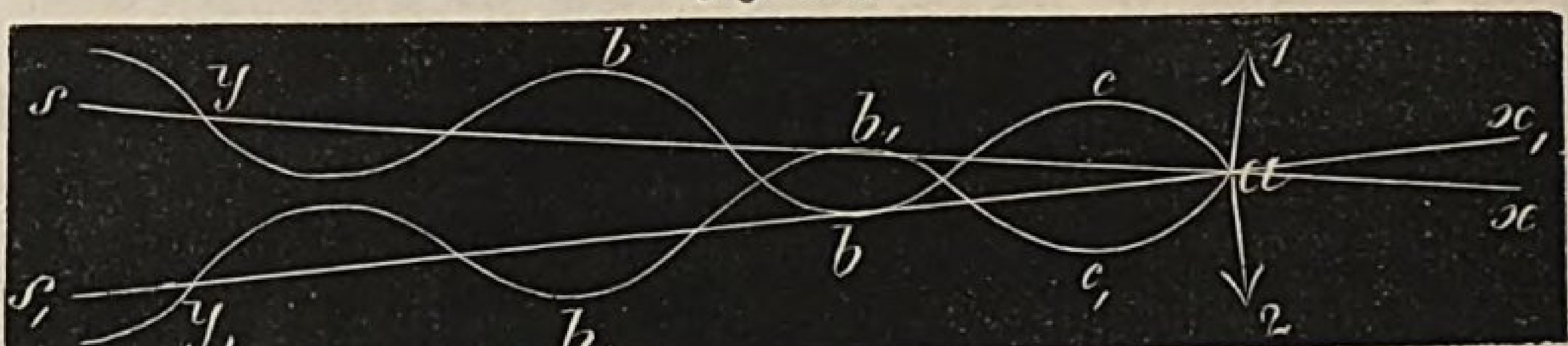


dere Einwirkung) von ihren ursprünglichen (divergenten) Richtungen eine Ablenkung erlitten haben, im Punkte a unter einem sehr spitzigen Winkel zusammentreffen. Sind nun die Wege, welche diese beiden Strahlen von der Lichtquelle an bis zum Punkte a zurückgelegt haben, einander gleich oder um eine ganze Wellenlänge oder um irgend ein Vielfaches einer ganzen Wellenlänge verschieden . . . (I), so werden offenbar sowohl bei der nach sx als bei der nach $s_1 x_1$ im Aether sich fortpflanzenden schwingenden Bewegung auf das Aetherteilchen a in dem nämli-

chen Momente gleiche, (eigentlich wegen der Neigung der beiden Strahlen gegen einander nur sehr nahe gleiche) Schwingungszustände übertragen. Es werden daher die Richtungen, in welchen das Theilchen a durch die eine nach s x und durch die andere nach $s_1 x_1$ fortschreitende Wellenbewegung aus seiner Ruhelage herausgetrieben wird, in jedem Momente immer (sehr nahe) übereinstimmen, und die Schwingungsintensität dieses Theilchens wird in jedem Augenblicke (sehr nahe) doppelt so groß sein (es muß also von dem Durchkreuzungspunkte a der in Rede stehenden zwei Strahlen stets eine stärkere Lichtwirkung ausgehen), als wenn dasselbe bloß durch die Bewegung, welche sich nach einer der zwei Richtungen s x und $s_1 x_1$ fortpflanzt, in Schwingungen versetzt würde. Die Wellenlinien y b a und $y_1 b_1$ a stellen für den in Rede stehenden Fall die gegenseitige Lage der Aethertheilchen während des Fortschreitens der schwingenden Bewegung nach den Richtungen s x und $s_1 x_1$ in einem bestimmten Momente dar, und die Pfeile 1, 2 bezeichnen die Richtungen, nach welchen das Aethertheilchen a gleichzeitig durch beide Wellenbewegungen aus seiner Ruhelage nach einer Seite hin heraustreten gemacht wird, so daß es das Wellensystem y b a in demselben Augenblicke nach 1 treibt, in welchem es von dem Wellensysteme $y_1 b_1$ a nach 2 getrieben wird. (Daß das Theilchen a strenge genommen, weder der einen noch der andern Richtung, sondern, da diese einen Winkel 1 a 2 einschließen, einer nach der nämlichen Seite hin gehenden Mittelrichtung folgen werde und daß, eben dieses Winkels wegen, die resultirende Schwingungsintensität auch nicht genau die Summe der den beiden Wellensystemen entsprechenden Schwingungsintensitäten sein könne, daß aber die Abweichungen wegen der außerordentlichen Kleinheit des besagten Winkels sich als verschwindend gering betrachten lassen, ist wohl für sich klar.)

Sind die Wege, welche die beiden Strahlen s x und $s_1 x_1$ von der Lichtquelle an bis zum Punkte a zurückgelegt haben, um eine halbe Wellenlänge oder um ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge (d. i. um $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{3}{2}\lambda$, $\frac{5}{2}\lambda$, $\frac{7}{2}\lambda$ u. s. w., wenn λ die Wellenlänge bedeutet,) von einander verschieden . . . (II), so werden offenbar durch die den Strahlen s x und $s_1 x_1$ zu Grunde liegenden Wellenbewegungen auf den Zusammentreffungspunkt a gleichzeitig entgegengesetzte Schwingungszustände übertragen, so daß (wie man in der, diesen Fall anschaulich machenden Fig. 666 versinnlicht sieht,) das Aethertheilchen a aus seiner Ruhelage

Fig. 666.



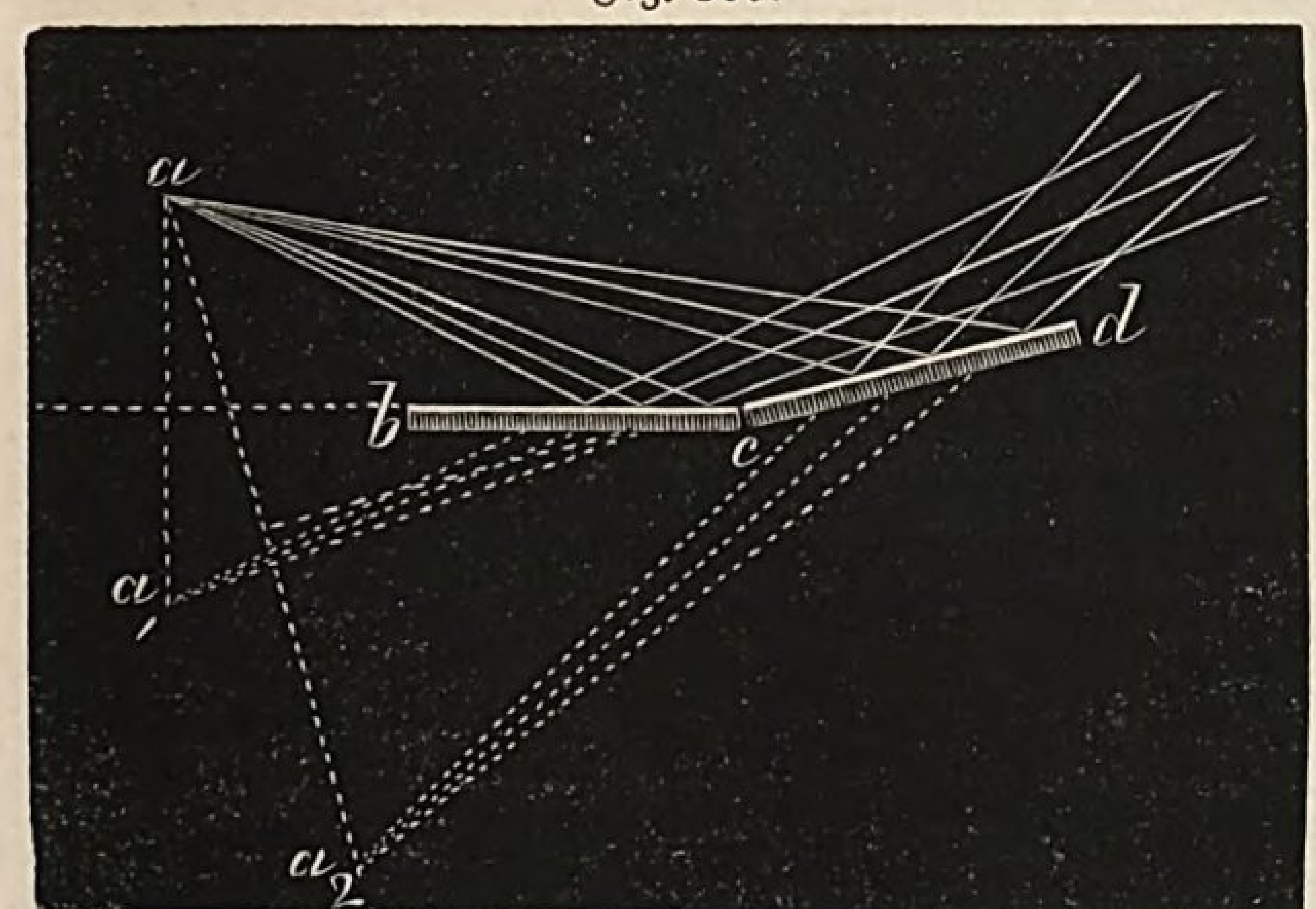
durch das Wellensystem y b c a in dem nämlichen Momente nach 1 hin angetrieben wird, in welchem das zweite Wellensystem $y_1 b_1 c_1$ a mit gleicher Kraft es nach 2 hin zu bewegen sucht, die beiden gleichen und als entgegengesetzt anzusehenden Kräfte sich aufheben, das Aethertheilchen im Punkte a in Ruhe bleibt und daher von diesem Punkte keine Lichtwirkung ausgeht (in demselben das Licht des einen der daselbst zusammentreffenden Strahlen durch jenes des zweiten vernichtet wird).

Wenn der Unterschied der Wege, welche die zusammentreffenden (sich interferirenden) Strahlen von der Lichtquelle bis zum Interferenzpunkt zurückgelegt haben, weder eine oder mehrere ganze Wellenlängen, noch eine halbe Wellenlänge oder ein ungerades Vielfaches einer solchen beträgt, sondern eine Größe hat, welche zwischen diesen (bei der bisherigen Betrachtung vorausgesetzten) Werthen

liegt; so wird auch das Resultat der Interferenz beider Strahlen zwischen den Interferenz-Resultaten der vorigen zwei Fälle liegen, es wird nämlich an der Interferenzstelle (a) weder eine Verdopplung der Schwingungsintensität . . . (†), noch eine gänzliche Aufhebung der schwingenden Bewegung, (eine Schwingungsintensität = 0) . . . (††) hervorgebracht werden, sondern es wird daselbst eine Schwingungsintensität eintreten, welche dem einem oder dem andern der unter (†) und (††) bezeichneten Werthe näher kommt, je nachdem der Unterschied der Wege der unter (I) angegebenen Größe (einer ganzen Wellenlänge oder irgend eines Vielfachen einer solchen) oder aber dem bei (II) angeführten Werthe (einer halben Wellenlänge oder eines ungeraden Vielfachen einer solchen) sich mehr nähert, und es wird daher von a immer eine mit dieser Schwingungsintensität zu- und abnehmende Lichtwirkung ausgehen. Daß in dem Falle, wo zwei von der nämlichen Lichtquelle ausgegangene Strahlen, nachdem sie von ihren ursprünglichen Richtungen abgelenkt worden, längst einer und derselben geraden Linie vereinigt werden, von allen in dieser Linie gelegenen Aethertheilchen dasselbe gelte, was von dem Aethertheilchen im Durchkreuzungspunkte a der Strahlen $s\,x$ und $s_1\,x_1$ in Bezug auf Interferenz-Wirkung dargethan wurde, leuchtet gewiß von selbst ein. Eben so begreift man nun auch für sich, daß die vorbesagte gänzliche Aufhebung der Aetherschwingungen durch Interferenz nur dann möglich ist, wenn die betreffenden Strahlen längst einerlei Geraden vereinigt werden oder sich unter einem sehr kleinen Winkel kreuzen, weil bloß in diesen zwei Fällen die durch beide Strahlen auf ein und dasselbe Aethertheilchen gleichzeitig übertragenen Schwingungszustände der zu den Strahlen senkrechten Schwingungsrichtung nach (genau oder wenigstens sehr nahe) entgegengesetzt sein können.

Den Beweis des Vorstehenden und überhaupt eine vollständige Darstellung des Wesens der Lichtinterferenz liefert am besten der Fresnel'sche Spiegelversuch. Um denselben anzustellen, macht man durch eine schmale längliche Oeffnung (eine geradlinige Spalte) im Fensterladen eines verfinsterten Zimmers (am besten mittelst des Heliostates) ein Bündel Sonnenstrahlen eintreten, concentrirt diese durch eine dicht an der Spalte und ihr parallel angebrachte oder in derselben eingesetzte cylindrische Linse (einen zur Axe eines Glascylinders parallelen Abschnitt) zu einer der Spalte parallelen Lichtlinie, und leitet die von dieser divergent ausgehenden Strahlen auf zwei ebene Spiegel b c und c d (Fig. 667), am besten aus schwarzem Glase, die unter einem sehr stumpfen, von 180° nur sehr wenig verschiedenen Winkel so gegen einander geneigt sind, daß die Linie c, in welcher ihre Ebenen sich schneiden, der besagten Lichtlinie parallel ist. (Es läßt sich dies am einfachsten und leicht dadurch bewerkstelligen, daß man die Spalte in horizontaler Lage anbringt, auf eine 1 — 2 Klafter davon entfernte ebene und horizontale Fläche zwei ganz gleich dicke Stücke schwarzen Spiegelglases so legt, daß sie mit scharfen geradlinigen Kanten in einer zur Spalte parallelen Linie aneinanderstoßen, und dann unter das eine der Glasstücke auf der von besagter Linie abstehenden Seite ein

Fig. 667.



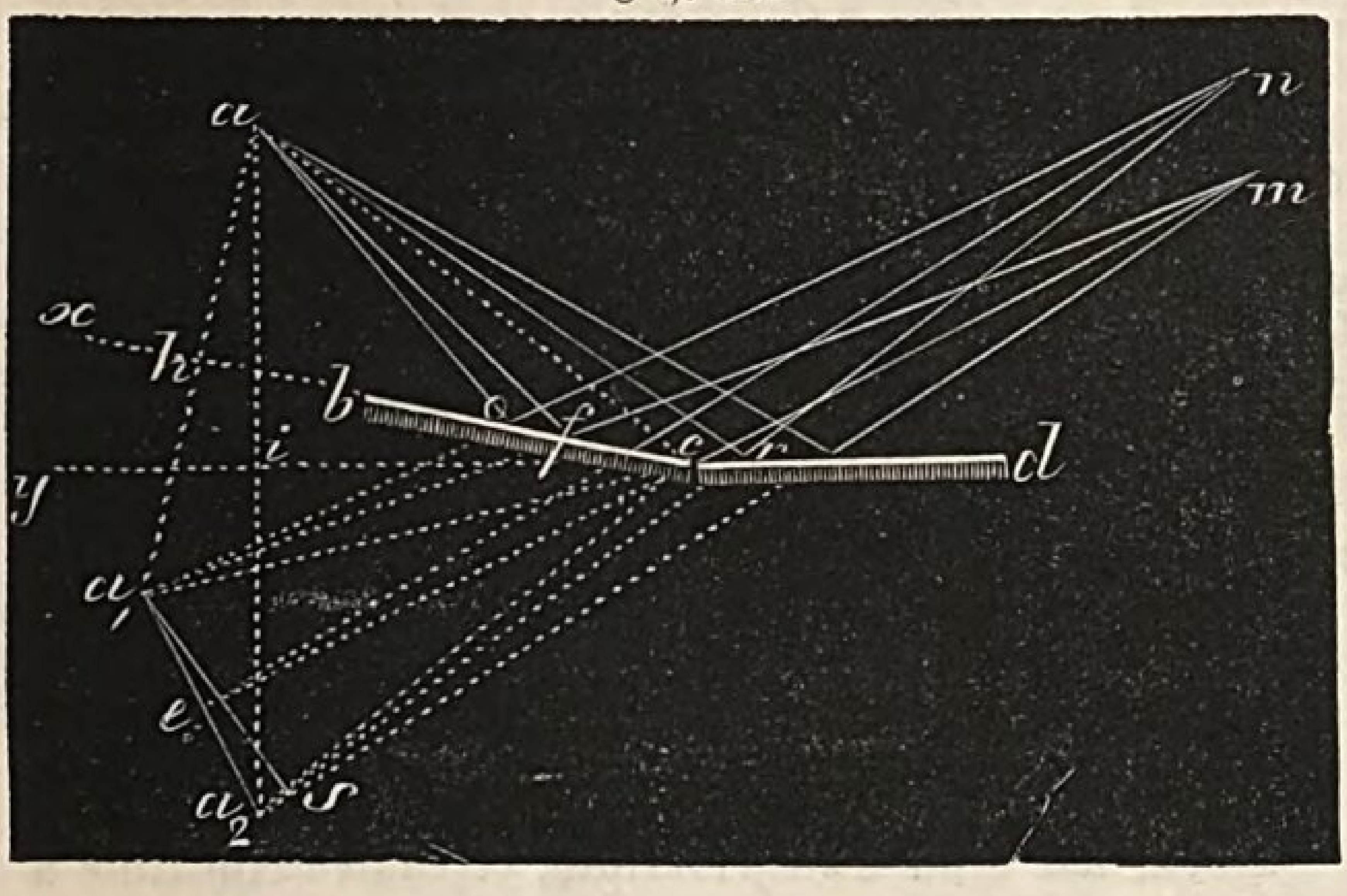
Blatt Papier unterschiebt.) Diese Strahlen werden von den Spiegeln so reflektirt, als kämen sie von zwei in Bezug auf Lichtaussendung vollkommen identischen leuchtenden Linien a_1, a_2, nämlich von den durch die Spiegel erzeugten Bildern der Lichtlinie her und durchkreuzen einander nach dieser Reflexion. Bringt man an den Ort des Durchkreuzens einen weißen Schirm, der daselbst die reflektirten Strahlen auffängt, so sieht man auf demselben eine Reihe verschiedenfarbiger, gerader und zur Durchschnittslinie der Spiegel paralleler Streifen. Man kann auch, anstatt den besagten Schirm am Durchkreuzungsorte anzubringen, nach diesen mit einer Loupe hinsehen, wo man dann die nämlichen farbigen Streifen und zugleich die ganze Erscheinung vergrößert sieht.

Zerlegt man das weiße Licht, bevor es auf den vorerwähnten Glascylinder-Abschnitt trifft, durch ein dreiseitiges Prisma in seine farbigen Bestandtheile und läßt bloß eine Farbengattung, z. B. bloß den rothen Antheil auf diesen Glascylinder-Abschnitt gelangen, oder läßt man die Strahlen, welche von der weißen (durch den Glascylinder-Abschnitt gebildeten) Lichtlinie ausgehen, durch ein farbiges Glas gehen, welches nur homogenes z. B. nur rothes Licht hindurchläßt; so sieht man auf dem Schirme oder mittelst der Loupe helle, durch dunkle (schwarze) Linien getrennte Streifen und zwar von der Farbe des auf die Spiegel gelangenden Lichtes. Wechselt man, ohne die Stellung der Spiegel und der Loupe zu ändern, das auf erstere gelangende Licht bezüglich der Farbe, und zwar vom Roth durch die Zwischenfarben des Spektrums bis zum Violet fortschreitend, so findet man, daß die hellen (farbigen) Streifen immer schmäler werden, und daß an die Stellen, welche bei einer bestimmten Farbe des Lichtes von dunklen Streifen eingenommen werden, bei Licht einer andern Farbengattung helle farbige Streifen hinfallen. Man begreift hiernach, daß in dem Falle, wo gleichzeitig alle prismatischen Farbengattungen d. h. weiße Strahlen auf die Spiegel gelangen, die dunkeln Linien verschwinden und helle verschiedenfarbige Streifen neben und zum Theil auch über einander fallend erscheinen müssen, daß also das Interferenz-Phänomen im weißen Lichte lediglich das Resultat des gleichzeitigen Uebereinanderfallens der Erscheinungen sei, welche die verschiedenen, im weißen Lichte vorhandenen Farbengattungen, einzeln genommen, zeigen, und daß es daher, um dieses Phänomen nach der Vibrationstheorie zu erklären und seine volle Uebereinstimmung mit derselben darzuthun, nur der Untersuchung des Phänomens, wie es sich im homogenen Lichte zeigt, bedürfe. In jedem solchen Falle läßt sich aber aus der gegenseitigen Lage der Lichtlinie (a), der zwei Spiegeln (b c und b d), der Punkte a_1, a_2, von welchen die von den Spiegeln reflektirten Strahlen herzukommen scheinen, und jener eines bestimmten, farbigen oder dunkeln Streifens die Größe der Wege bestimmen, welche die diesen Streifen bildenden Strahlen bis zu seinem Entstehungsorte zurückgelegt haben. Dabei findet man folgende Resultate: 1. der farbige Streifen, welcher immer in der Mitte zwischen den beiden mit den hellen und dunkeln Streifen gleichzeitig sichtbaren Bildern a_1 a_2 der Lichtlinie a sich zeigt, liegt an den Durchkreuzungsstellen von Strahlen, welche von der Lichtlinie bis zu diesen Stellen gleich große Wege zurückgelegt haben. 2. Die von dem besagten mittleren Streifen nach der nämlichen Seite, z. B. nach oben hin, auf einander folgenden Farbenstreifen befinden sich an den Stellen, wo sich von a ausgehende Strahlen durchkreuzen, nachdem sie Wege zurückgelegt haben, die bei dem ersten Farbenstreifen um λ, bei dem zweiten um 2λ, bei dem dritten um 3λ u. s. w. verschieden sind, wo λ für Strahlen derselben Farbe eine konstante Größe ist, aber für Strahlen verschiedener Farbe, ja selbst für die verschiedenen Abstufungen der nämlichen prismatischen Farbengattung (z. B. für die verschiedenen Abstufungen des Roth im Spectrum) einen andern und zwar für die äußersten rothen Strahlen den größten und für die äußersten violeten den

kleinsten Werth hat. Für die auf der andern Seite vom mittleren Farbenstreifen (unterhalb desselben) gelegenen farbigen Streifen findet genau dasselbe Gesetz Statt, so daß die Wegdifferenz der sie bildenden Strahlen für den ersten dieser Streifen auch λ, für den zweiten $2\,\lambda$ u. s. w. beträgt. 3. Die dunkeln, mit den farbigen abwechselnden Streifen sind ebenfalls das Resultat der Durchkreuzung von Strahlen, aber nach zurückgelegten ungleich großen Wegen, und es gilt für diese beiderseits des mittleren Farbenstreifens nach einander folgenden dunkeln Streifen ganz das Nämliche, wie für die außer der Mitte des Phänomens gelegenen farbigen Streifen; nur sind die Wegdifferenzen der die dunkeln Streifen bildenden Strahlen andere, und zwar beträgt die Wegdifferenz bei jedem der zwei dunkeln Streifen, die dem mittleren Farbenstreifen beiderseits (oben und unten) am nächsten liegen, $\frac{1}{2}\lambda$, bei jedem der zwei beiderseits nächstfolgenden $\frac{3}{2}\lambda$, bei jedem der zwei dritten, der zwei vierten u. s. w. Streifen dieser Art $\frac{5}{2}\lambda$, $\frac{7}{2}\lambda$ u. s. w. Man sieht, daß diese Resultate ganz im Einklang mit dem Wesen der Undulationstheorie stehen, wenn λ eine Wellenlänge bedeutet.

Wie die angeführten Resultate auf Grundlage der Prinzipien dieser Theorie gefunden werden konnten, wird Folgendes begreiflich machen. Es seien (in Fig. 668) wieder bc und cd die beiden gegen einander geneigten Spiegel, deren Durchschnittslinie c auf der Ebene des Papiers senkrecht stehend zu denken ist; a ein Punkt der Lichtlinie, von welcher nur homogenes Licht auf die Spiegel gelangend vorausgesetzt wird, a_1, a_2 seien die von den letzteren erzeugten Bilder des Punktes a und m sei ein Punkt des oben besagten mittleren Farbenstreifens im Gesichtsfeld der Loupe oder auf dem Schirme, womit die farbigen und dunklen Streifen des Interferenzphänomens aufgefangen werden.

Fig. 668

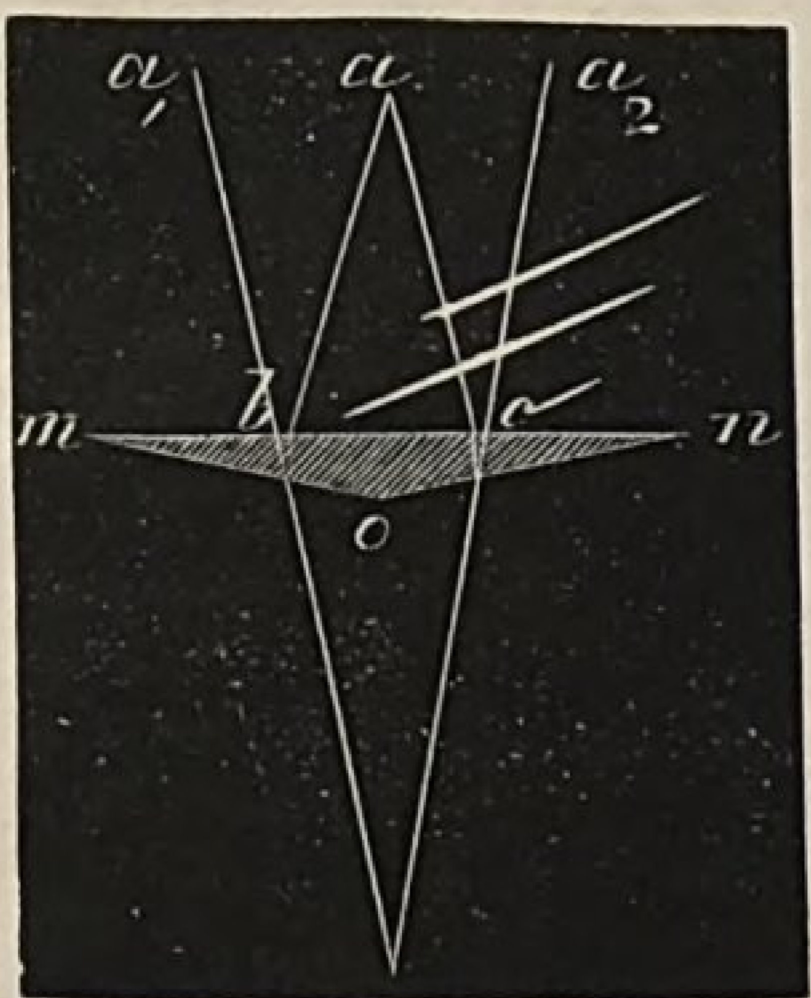


Da der Punkt m, wie die Beobachtung zeigt, immer in der verlängerten Geraden liegt, welche vom Halbirungspunkte e des Abstandes $a_1\,a_2$ der beiden Bilder durch den Durchschnittspunkt c der Spiegel geht, so wird er offenbar durch Strahlen gebildet, die vom leuchtenden Punkte a bis zu ihrer Durchkreuzung gleiche Wege zurückgelegt haben; denn es sind die zwei Linien afm und agm, welche von a ausgehende und nach der Reflexion von beiden Spiegeln in m sich kreuzende Strahlen vorstellen, einander gleich . . . 1). Um dies einzusehen, seien bx und cy die verlängerten Ebenen der beiden Spiegel, und $a\,h\,a_1$, dann $a\,i\,a_2$ die auf diesen Ebenen Senkrechten, in welchen, eben so weit hinter den Spiegeln, wie der leuchtende Punkt a vor denselben, die Bilder des letzteren liegen. Es ist nämlich, wegen der (nach der Theorie des Planspiegels auf S. 609 für sich klaren) Congruenz der Dreiecke afh und hfa_1, dann agi und iga_2 . . 2), $af = a_1f$ . . . 3) und $ag = a_2g$. Zieht man die Linien ac, a_1c und a_2c, so folgt aus der Congruenz der Dreiecke ach und hca_1, dann aci und ica_2 [da zu Folge 2) die Winkel an h und jene an i einander gleich sind, ferner $ah = ha_1$, $ai = ia_2$, $hc = hc$ und $ic = ic$ ist] $ac = a_1c$, $ac = a_2c$ und daher, $a_1c = a_2c$ . . . 4). Aus dieser letzten Gleichung 4) und da auch $a_1e = ea_2$ . . . 5) (indem e nach oben gemachter Voraussetzung den Halbirungspunkt von a_1a_2 bildet) endlich $ec = ec$ ist, folgt, daß die Dreiecke a_1ce und eca_2 congruent, daher die Winkel an e einander gleich sind. Hieraus und aus den Gleichungen 5) und $em = em$ ergibt sich wieder die Congruenz der Dreiecke a_1me und ema_2, darnach die Gleichung $a_1m = a_2m$ oder $a_1f + fm = a_2g + gm$, und mit Rücksichtnahme auf 2) und 3) endlich $af + fm = ag + gm$, d. i. der oben unter 1) ausgesprochene Satz von der Gleichheit der Wege der im Punkte m sich kreuzenden Strahlen. Das Farbigerscheinen dieses Punktes steht also ganz im Einklange mit der Undulationstheorie. In jedem andern Punkte z. B. n auf dem Schirme oder im Gesichtsfelde der Loupe können von a aus offenbar nur Strahlen zusammen-

treffen, welche ungleichlange Wege $ao + on = a_1 n$ und $ar + rn = a_2 n$, deren Differenz $a_2 n - a_1 n = a_2 s$ $(= \delta)$ ist, zurückgelegt haben. Der Abstand des Punktes n von m wird durch den Winkel nem bestimmt, den wir Kürze halber mit φ bezeichnen wollen. Da bei dem Interferenzphänomen die gegenseitige Entfernung $a_1 a_2$ $(= \alpha)$ der beiden Bilder der Lichtlinie und auch die Wegdifferenz δ immer sehr klein ist, so kann das Dreieck $a_1 s a_2$ als rechtwinklig und $a_1 s$ als senkrecht gegen en angesehen werden. Es ist daher $a_2 s : a_1 a_2 = \sin. a_2 a_1 s : 1$, und da, weil me auf $a_1 a_2$ und ne auf $a_1 s$ senkrecht steht, die Winkel nem $(= \varphi)$ und $a_2 a_1 s$ gleich sind, auch $a_2 s : a_1 a_2 = \sin. \varphi : 1$; daher hat man $\sin. \varphi = \frac{a_2 s}{a_1 a_2} = \frac{\delta}{\alpha}$, oder, wegen der erwähnten Kleinheit von φ, endlich $\varphi = \frac{\delta}{\alpha}$. Setzt man in dieser Gleichung für die Wegdifferenz δ nach und nach λ, 2λ, 3λ, 4λ ..., wo λ die Länge einer Welle (des in Anwendung gebrachten homogenen Lichtes) bedeutet; so bekömmt man Ausdrücke für die Abstände des ersten, zweiten, dritten, vierten .... farbigen Streifens von m (von der Mitte des Gesichtsfeldes) und durch Substitution von $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{3}{2}\lambda$, $\frac{5}{2}\lambda$, $\frac{7}{2}\lambda$ u. s. w. für δ ergeben sich die Abstände von m der auf jeder Seite dieses mittleren Farbenstreifens nach einander folgenden dunkeln Streifen. Aus jedem dieser Ausdrücke z. B. $\varphi = \frac{3\lambda}{\alpha}$ ... (†), wo φ den Abstand des dritten farbigen Streifens von der Mitte bedeutet, läßt sich, die Größe dieses Abstandes und die Distanz α der beiden Bilder scharf gemessen vorausgesetzt, (welche Messungen jedoch schwierig sind), die Größe der Wellenlänge (λ) finden, wobei sich das Resultat (S. 738) ergibt, daß den rothen Strahlen die größte, den violeten die kleinste Wellenlänge entspricht, und daß diese für die zwischen gelegenen prismatischen Farben von der rothen gegen die violete hin immer abnimmt. Auch ist nach (†) klar, daß, je stumpfer der Neigungswinkel der Spiegel gegen einander und mithin je kleiner α ist, desto mehr bei der nämlichen homogenen Lichtgattung auch die Distanz eines und desselben Interferenzstreifens von dem mittleren betragen, daß also die Vergrößerung des besagten Neigungswinkels ein Auseinander- und seine Verkleinerung ein Aneinanderrücken der Interferenzstreifen zur Folge haben müsse, wie dies ganz der Erfahrung gemäß ist.

Anstatt der zwei bisher in Rede gestandenen Spiegel kann man sich zur Hervorbringung des Interferenzphänomens auch eines dreiseitigen Glasprismas (m o n in Fig. 669) bedienen, dessen Seitenflächen mo und on einen sehr stumpfen (von 180° wenig verschiedenen) Winkel einschließen. Stellt man dasselbe so, daß die Flächen mo und no der auf gleiche Weise, wie beim Spiegelversuch, erzeugten Lichtlinie a zugewendet sind und die Kante o dieser Linie parallel ist, und sieht durch eine vor der Fläche mn in einer Entfernung von 6 — 12 Zoll angebrachte Loupe gegen diese Fläche hin; so erblickt man das Interferenzphänomen. Uebrigens zeigt sich dieses ebenfalls auf einem Schirme von weißem Papier, womit das durchs Prisma gegangene Licht aufgefangen wird. Die Lichtlinie, die brechende Kante (o) des Prismas und die Axe der Loupe müssen immer in einer und derselben Ebene liegen. Um das Phänomen im homogenen z. B. rothen Lichte zu beobachten, darf man nur vor das Auge ein möglichst homogenes, farbiges, in unserem Beispiel ein rothes, Glas bringen. Die von der Lichtlinie a ausgehenden Strahlen werden im Prisma so gebrochen, daß sie (wie $a_1 b$ $a_2 c$,) von zwei Lichtlinien a_1, a_2, auszugehen scheinen und vor der Fläche m n gerade so wie vor den Interferenzspiegeln unter sehr spitzigen Winkeln zusammentreffen.

Fig. 669.



335. Beugung oder Diffraction des Lichtes. Man versteht darunter die Ablenkung, welche die Lichtstrahlen von ihrer geradlinigen Richtung zu erfahren scheinen, wenn sie durch kleine Oeffnungen hindurch, oder an den Rändern schmaler undurchsichtiger Körper vorbei gehen, und bei welcher

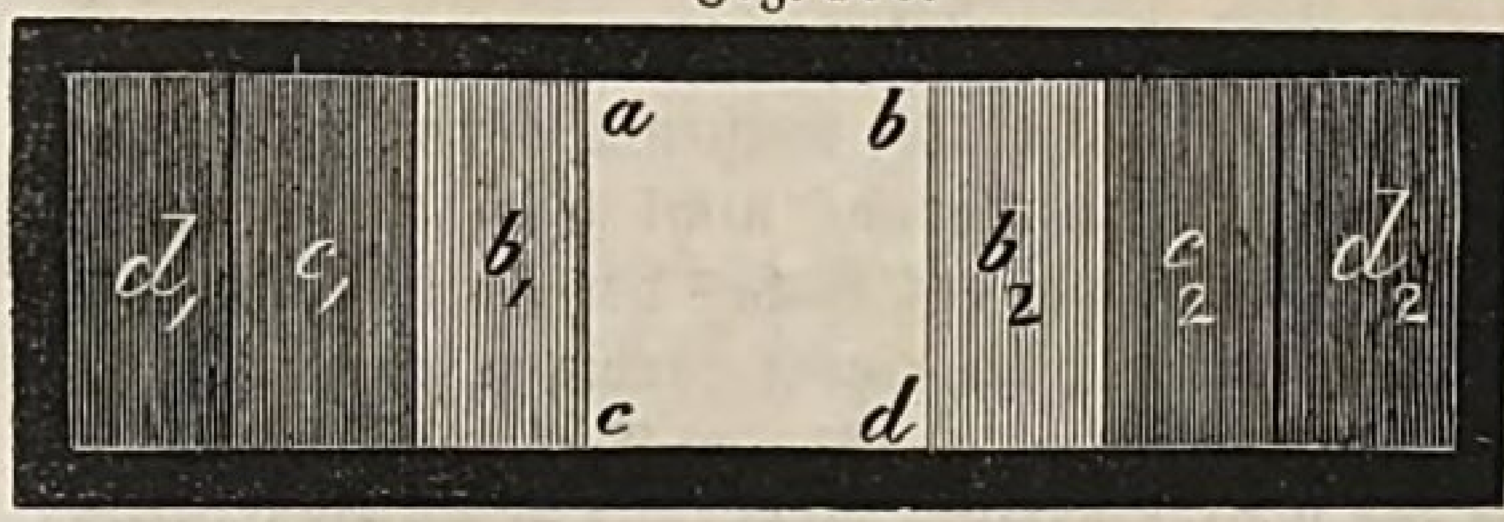
Ablenkung eigenthümliche Farbenerscheinungen erzeugt werden. Wir wollen zuerst diese Erscheinungen und die Arten, sie hervorzubringen, beschreiben und nachher zu ihrer Erklärung schreiten. 1. Läßt man in ein verfinstertes Zimmer durch eine kleine runde Oeffnung im Fensterladen ein Bündel direkter Sonnenstrahlen eintreten, dasselbe dann auf eine dünne Metallplatte fallen, welche sich etwa 1—2 Klafter von der Oeffnung entfernt befindet und in der Richtung der Axe des auffallenden Bündels ein sehr kleines, rundes Loch (von der Größe, als wäre es mittelst einer Nadel durchstochen) hat und fängt endlich das durch dieses Loch gegangene Licht in einiger Entfernung davon auf einem weißen Schirme oder einer mattgeschliffenen Glastafel auf; so erblickt man darauf nicht bloß einen runden weißen Fleck, wie dies bei größerer Ausdehnung des Loches der Fall ist, sondern dieser runde weiße Fleck zeigt sich ringsherum von einem farbigen Saume (von mehreren farbigen Ringen) umgeben, der einen weit größeren Durchmesser hat, als durch die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes bedingt wird, so daß eine Ablenkung von dieser Fortpflanzungsrichtung stattgefunden zu haben erscheint. Substituirt man der runden Oeffnung im Fensterladen eine schmale Spalte (längliche viereckige Oeffnung) und dem runden feinen Löche in der Metallplatte eine sehr feine jener im Fensterladen parallele Spalte; so erscheinen auf dem Schirme oder auf der matten Glastafel anstatt des runden weißen Fleckes ein länglich viereckiger und als Einsäumung dieses Fleckes anstatt der farbigen Ringe, farbige, der Spalte parallele Streifen. Läßt man anstatt durch die Oeffnung im Fensterladen Licht unmittelbar auf die Metallplatte zu leiten, Lichtstrahlen nach ihrer Concentrirung und zwar bei dem zuerst beschriebenen Versuche im Brennpunkte einer Sammellinse, bei dem zweiten Versuche hingegen in der Brennlinie einer cylindrischen Linse (eines Glascylinder-Abschnittes wie auf Seite 743 beschrieben wurde) auf die besagte Metallplatte gelangen und betrachtet das Beugungsphänomen, ganz in der Art wie das Interferenzphänomen, mit der Loupe; so erscheinen die farbigen Ringe oder Streifen viel deutlicher und schärfer als auf dem Schirme oder auf der matten Glastafel. Sowohl in dem Falle, wo das gebeugte Licht auf einem Schirme, als auch, wenn es mit einer Loupe aufgefangen wird, kann nur ein sehr kleiner Theil dieses Lichtes ins Auge des Beobachters gelangen, das Beugungsphänomen also immer nur lichtschwach erscheinen. Man bringt aber alles gebeugte Licht ins Auge, wenn man, wie dies Fraunhofer zuerst gethan, die das Licht beugende runde oder längliche Oeffnung in der Metallplatte o. dgl. vor dem Objective eines achromatischen Fernrohrs und ganz nahe an dem ersteren anbringt. Diese Methode, welche zugleich auch eine bedeutende Vergrößerung des Phänomens durch das Ocular des Fernrohrs gestattet, hat außerdem noch Vorzüge, die erst später bei Abhandlung der Lichtbeugung durch Gitter gewürdigt werden können, und ist unstreitig die beste und vollkommenste. Bei ihrer Anwendung wird das Fernrohr so aufgestellt, daß man durch dasselbe den leuchtenden Punkt oder die leuchtende Linie, (welche durch die sphärische oder cylinderische Linse erzeugt wurden) je nachdem eines oder das andere als Lichtquelle dient, scharf begrenzt sieht, und nachher wird die Metallplatte, welche die beugende Oeffnung enthält, senkrecht gegen die optische Axe des Fernrohrs in eine Hülse eingeschoben, die auf die Röhre des letzteren anstatt des gewöhnlichen Objectivdeckels aufgesteckt worden und am vordern Ende zwei geradlinige, unter einander parallel und gegen die Länge des Fernrohrs senkrecht laufende Nuthen zum besagten Einschieben der rechteckigen Metallplatte hat.*) Im Folgenden werden nun die Beugungserscheinungen so

*) Schwerd vereinfachte den zu reiner und deutlicher Darstellung der Beugungserscheinungen nöthigen Apparat dadurch wesentlich, daß er das verfinsterte Zimmer entbehrlich machte, indem er als Lichtpunkt das Bildchen der in der convexen Fläche eines in der

beschrieben, wie sie nach der vollkommensten, Fraunhofer'schen Methode dargestellt, sich zeigen.

1. Beugung durch eine Spalte. In diesem Falle, wo (wie wir schon aus dem Vorhergehenden wissen, die Lichtquelle eine Lichtlinie und die beugende Spalte dieser parallel sein muß,) sieht man im Gesichtsfelde des Fernrohrs in der Mitte einen weißen Streifen a b c d (Fig. 670), dessen Höhe gleich der scheinbaren Höhe der Lichtlinie ist, und der eine desto größere Breite hat, je enger die beugende Spalte ist. Zu beiden Seiten geht er zuerst in einen gelben, dann in einen rothen Streifen über und an jeden dieser letzteren (der rothen Streifen) schließt sich eine Reihe allmälig in einander übergehender Farbenbilder $b_1, c_1, d_1, \ldots$ einerseits und $b_2, c_2, d_2, \ldots$ andererseits an. Jedes Farbenbild der einen Reihe enthält die nämlichen Farben und in derselben Anordnung, wie das, von dem weißen Streifen an gezählt, eben so vielte der zweiten Reihe, und ist desto lichtschwächer, je weiter es von diesem Streifen absteht. In einem und demselben Farbenbilde ist die dem weißen Streifen nächste Farbe violet, und dann folgen die übrigen prismatischen Farben bis zur rothen, welche die entfernteste ist; man unterscheidet aber nur in den ersten zwei Bildern (b_1 und b_2) alle sechs prismatischen Farben, den zweiten (c_1 und c_2) fehlt das Violet, den dritten (d_1 und d_2) das Violet und das Blau u. s. w., d. h. jedem der folgenden Bilder immer um eine Farbe mehr. Mittelst eines zwischen dem Oculare des Fernrohres und dem Auge angebrachten kleinen dreiseitigen Prismas, dessen brechende Kante gegen die Lichtlinie senkrecht steht, überzeugt man sich, daß wohl die von der Mitte des Phänomens entfernteren Farbenbilder, nicht aber die nahen aus homogenem Lichte bestehen. Ferner erscheinen die Farbenbilder desto mehr von der besagten Mitte weggerückt und desto breiter, je enger die beugende Spalte ist. Die Abstände einer und derselben Farbe, z. B. der rothen, in den (auf einer Seite des mittleren weißen Streifens) nach einander folgenden Farbenbildern wachsen wie die Glieder einer arithmetischen Reihe, deren Differenz dem ersten Gliede gleich ist. Ist die Lichtquelle eine Spalte im Fensterladen, so hat die Breite dieser letzteren keines=

Fig. 670.



Höhlung schwarz angestrichenen Taschenuhrglases, eines wohl polirten Metallknopfes, der Kugel eines Quecksilberthermometers o. dgl. sich spiegelnden Sonne anwendet und eine Lichtlinie durch Spiegelung einer innerlich geschwärzten Glasröhre, einer Stricknadel o. dgl. im Sonnenlichte sich verschafft, ferner die eigentlich beugende Oeffnung in ein Staniolblättchen einsticht oder einschneidet, und dieses auf ein in der Mitte mit einem größeren Loche versehenes Blechstück so aufklebt, daß die beugende Oeffnung die mittlere Stelle dieses Loches einnimmt und ganz frei ist. Runde Oeffnungen werden mit einer feinen Nadel durchgestochen, eckige Oeffnungen schneidet man mit der Spitze einer dünnen scharfen Federmesserklinge ein, während das Staniolblättchen, ganz eben und glatt ausgestrichen, auf einer Glasplatte liegt. Sind die so erhaltenen beugenden Oeffnungen sehr klein, so zeigt sich das Beugungsphänomen schon deutlich und schön, wenn man diese Oeffnungen unmittelbar vor das Auge hält und durch sie nach dem, wie vorerwähnt, durch Spiegelung der Sonne erzeugten Lichtpunkt oder nach der auf gleichem Wege erhaltenen Lichtlinie hinsieht. Zum Behuf der Betrachtung des Phänomens durch ein Fernrohr, wobei größere beugende Oeffnungen angewendet werden, erhalten die Blechplatten, worauf die mit diesen Oeffnungen versehenen Staniolblättchen festzukleben sind, die Gestalt runder Scheiben mit einem großen Loche in der Mitte, werden in (am einfachsten) hölzernen Hülsen befestigt und mittelst dieser Hülsen, die sich in der oben angegebenen Art am Ende des Fernrohrs aufstecken lassen, unmittelbar vors Objectiv gebracht.

wegs auf die Lage und Anordnung der Farben des Phänomens, wohl aber auf die Reinheit und Deutlichkeit desselben Einfluß, indem diese mit der Breite der Spalte immer mehr abnehmen, so daß, wenn die Breite eine gewisse Grenze überschreitet, alle Farben verschwinden. Es ist nämlich die beleuchtete Spalte, die wir als vertikal annehmen wollen, gleichsam als aus lauter neben einander gereihten vertikalen Lichtlinien bestehend zu betrachten, deren jede der Spalte am Fernrohr ein Lichtbündel zusendet, welches in dieser die Beugung erfährt, so daß das beschriebene System des weißen und der farbigen Streifen desto mehrere Male entsteht, je breiter die Fensterspalte ist. Alle diese Systeme fallen dann natürlich auch neben und zum größten Theile so übereinander, daß die übereinanderfallenden Farben ungleichartig sind (das Roth des einen Systems z. B. mit dem Gelb und Grün eines andern Systems u. s. w. zusammenfällt), einander undeutlich machen, oder endlich, indem sie sich zu Weiß vereinigen (durch ihren gleichzeitigen Eindruck die Empfindung von Weiß erzeugen), verschwinden.

Bei der Beugung des homogenen Lichtes, die man unter sonst sich gleichbleibenden Umständen dadurch am einfachsten erhält, daß vor der Lichtlinie ein gefärbten Glas angebracht wird, welches nur eine Farbengattung, z. B. bloß das Roth durchläßt, sieht man in der Mitte des Gesichtsfeldes an der Stelle des vorher besprochenen weißen Streifens einen hellen von der Farbe des angewendeten homogenen (in unserem Beispiele rothen) Lichtes, beiderseits von diesem (r Fig. 671) und von demselben durch schwarze (völlig dunkle) Zwischenräume getrennt, folgen mit r gleichfarbige (r_1) und abwechselnd schwarze Streifen. Die farbigen Streifen sind desto lichtschwächer, je weiter vom mittleren (dem hellsten) sie sich entfernt befinden, übrigens ist bei jedem in der Mitte die Lichtstärke am größten und nimmt nach beiden Seiten hin bis zum Schwarzen allmälig ab. Alle Streifen haben eine desto größere Breite, je schmäler die beugende Spalte ist, sind bei gleicher Breite dieser letzteren im rothen Lichte am breitesten, im violeten am schmälsten und nehmen für die zwischenliegenden prismatischen Farben vom Roth bis zum Violet hin an Breite allmälig ab. Die Fig. 672 stellt die unter übrigens gleichen Umständen stattfindenden Abstände und Breiten der Streifen verhältnißmäßig dar und zwar bei R für rothes, bei Gr für grünes und V für violetes Licht. Ist die Lichtquelle ein Lichtpunkt und die beugende Oeffnung ein kleines Quadrat oder ein einem solchen sich näherndes Rechteck, so erscheint sowohl in der Richtung der Länge als der Breite desselben das für eine Spalte beschriebene Beugungsphänomen, man sieht also ein farbiges Kreuz, wie es, und zwar für homogenes Licht, die Fig. 673 zeigt; ist das der Beugung unterworfene Licht weiß, so sieht man natürlich anstatt der homogenen, durch dunkle Zwischenräume getrennten Farbenstreifen, unmittelbar aneinander gereihte prismatische Farbenbilder und der helle Fleck in der Mitte erscheint weiß, statt in der Farbe des homogenen Lichtes.

Fig. 671.

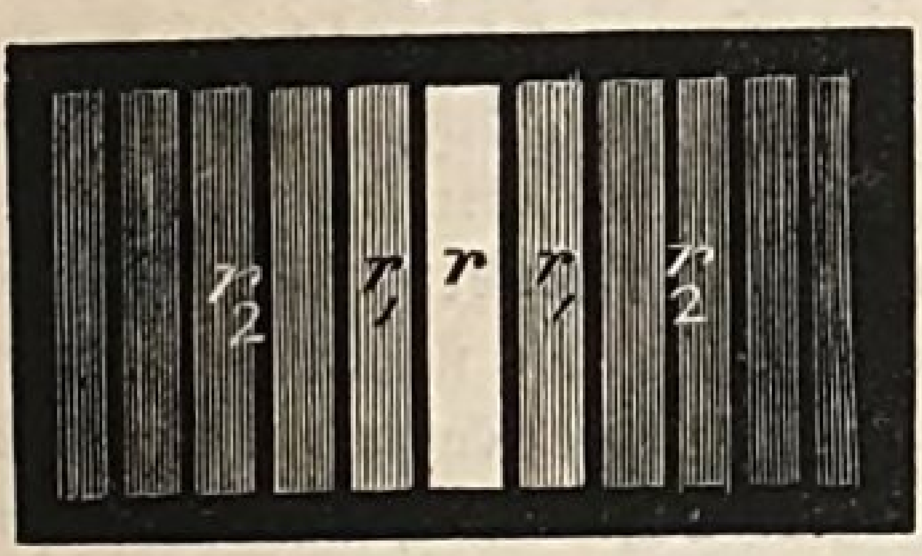


Fig. 672.

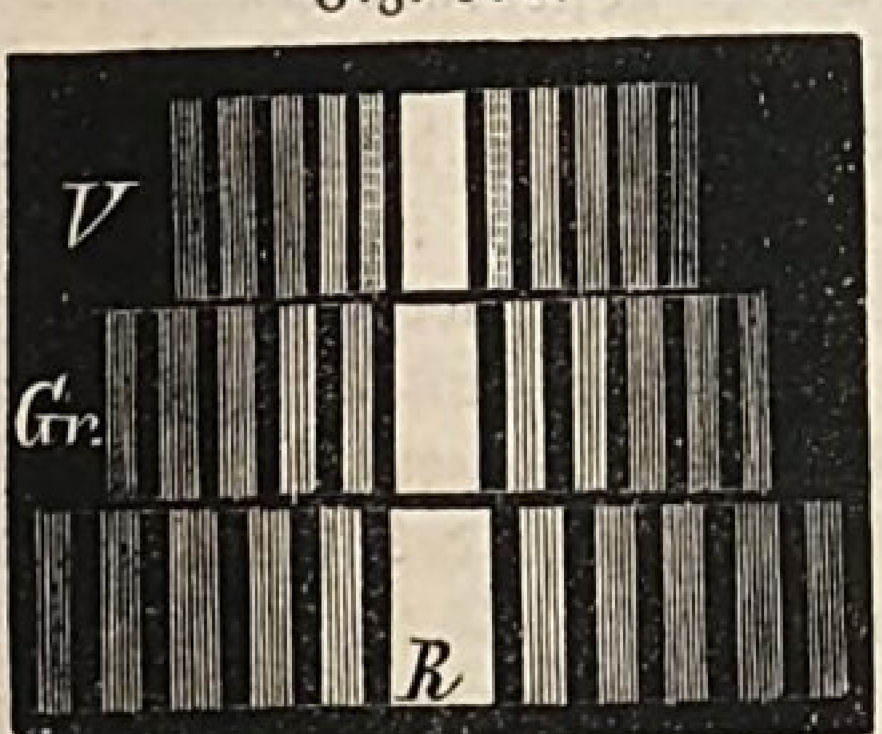
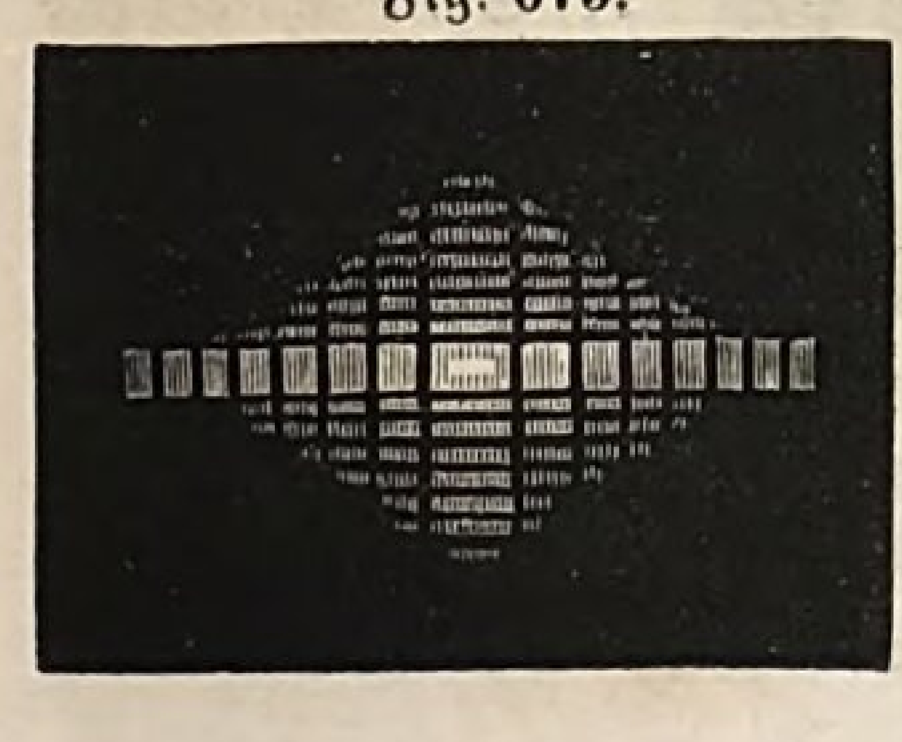


Fig. 673.



Ist die beugende Oeffnung im Schirme kreisrund, so erblickt man, da die Beugung nun nach allen Seiten hin in ganz gleichem Grade

Fig. 674.



erfolgt, einen kreisrunden hellen Fleck umgeben von concentrischen Ringen. Es versteht sich nun von selbst, daß Fleck und Ringe im homogenen Lichte die Farbe dieses letztern haben und die farbigen Ringe mit dunkeln abwechseln (Fig. 674), im weißen Lichte hingegen der Mittelfleck weiß ist, die hellen Ringe in den prismatischen Farben erscheinen und die dunkeln gar nicht vorhanden sind. . . . . (168)

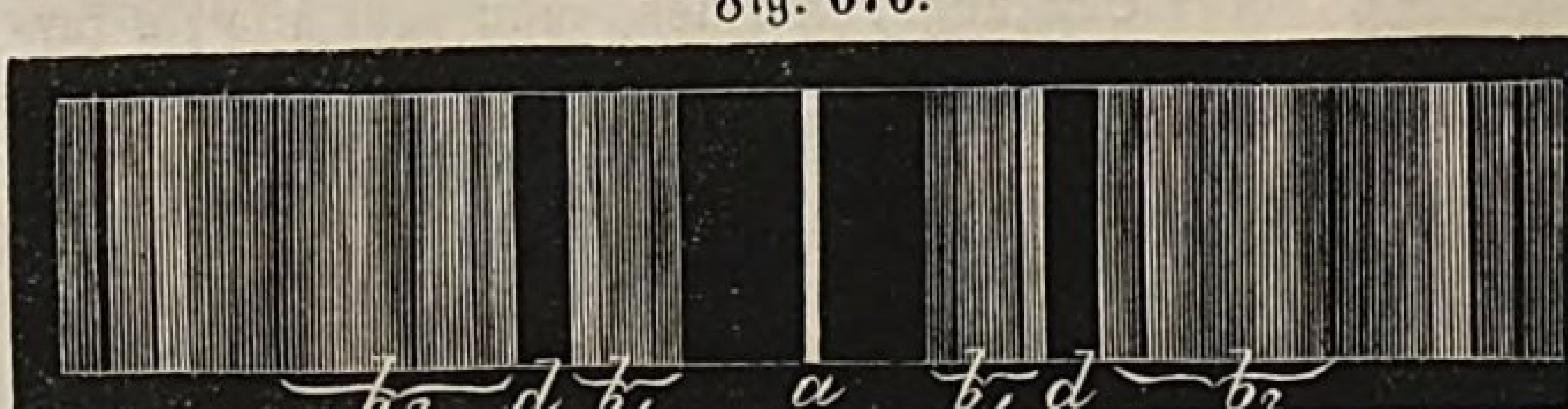
2. **Beugung des Lichtes durch mehrere Oeffnungen.** Wenn der oft genannte Schirm zwei oder mehrere für die Beugung geeignete Oeffnungen enthält, welche parallel, gleich, und in gleichen Abständen nahe an einander befindlich sind, so erzeugt jede derselben ein Beugungsphänomen, als ob sie nur allein vorhanden wäre, und diese Phänomene fallen zum Theil übereinander. Die Erscheinung, welche so entsteht, ist wohl ähnlich jener, die eine einzelne der Oeffnungen hervorbringt, unterscheidet sich von ihr aber doch mehr oder weniger in Bezug auf Beschaffenheit und Anordnung der Farbenbilder; der wesentlichste Unterschied besteht aber im Vorhandensein vieler schwarzer Linien in den Farbenstreifen, welche Linien bei dem einer einzigen Oeffnung angehörigen Phänomene fehlen. Bei zwei Oeffnungen fallen in den weißen Fleck, den eine der Oeffnungen gegeben hätte, schmale Farbenbilder hinein, so daß gerade nur in der Mitte des Gesichtsfeldes ein weißer Streifen übrig bleibt. Bei drei runden beugenden Oeffnungen, deren Mittelpunkte die Spitzen eines gleichseitigen Dreieckes bilden, zeigt sich die durch Fig. 675 anschaulich gemachte Beugungsgestalt. Die merkwürdigsten Beugungserscheinungen entstehen aber durch Gitter, d. i. eine größere Reihe gleicher und von einander gleichweit abstehender schmaler Spaltöffnungen, wie sie am besten erhalten werden, wenn man in die correspondirenden Gänge zweier paralleler feiner Schrauben, von der einen zur andern hin, einen dünnen Silberdraht spannt, oder ein Planglas mit Goldblättchen belegt und in diese Belegung mittelst einer feinen Spitze parallele, gegen einander nahe und gleichweit abstehende Linien radirt.

Fig. 675.



Bringt man nun ein solches Gitter (mit einer großen Anzahl von Oeffnungen) an der Stelle des Schirmes vor das Fernrohr, und wendet eine durch Concentrirung direkten Sonnenlichtes gebildete Linie oder eine Spalte im Fensterladen, durch welche in horizontaler Richtung Sonnenstrahlen geleitet werden, als Lichtquelle an (Lichtlinie oder Spalte müssen natürlich den Gitterspalten, die wir als vertikal voraussetzen wollen, parallel sein), so erhält man folgendes, durch Figur 676 versinnlichtes Phänomen. Es erscheint in der Mitte des Gesichtsfeldes die betreffende Lichtquelle (a) so scharf begrenzt und farblos, als sie durchs Fernrohr ohne Gitter gesehen wird, auf jeder Seite schließt sich an dieselbe ein völlig dunkler Raum, an diesen ein Spektrum b_1, ganz so wie es durch Zerlegung durch ein Prisma entsteht, an, dann kömmt wieder ein dunkler Raum (d) und nach diesem folgen, beiderseits symmetrisch, Farbenbilder b_2, $b_3 \cdots$, die mit der Entfernung von a an Breite zu- an Lebhaftigkeit aber abnehmen. Bei den ersten und zweiten Bildern (b_1, b_1 und b_2, b_2) ist das Violet nach a und

Fig. 676.



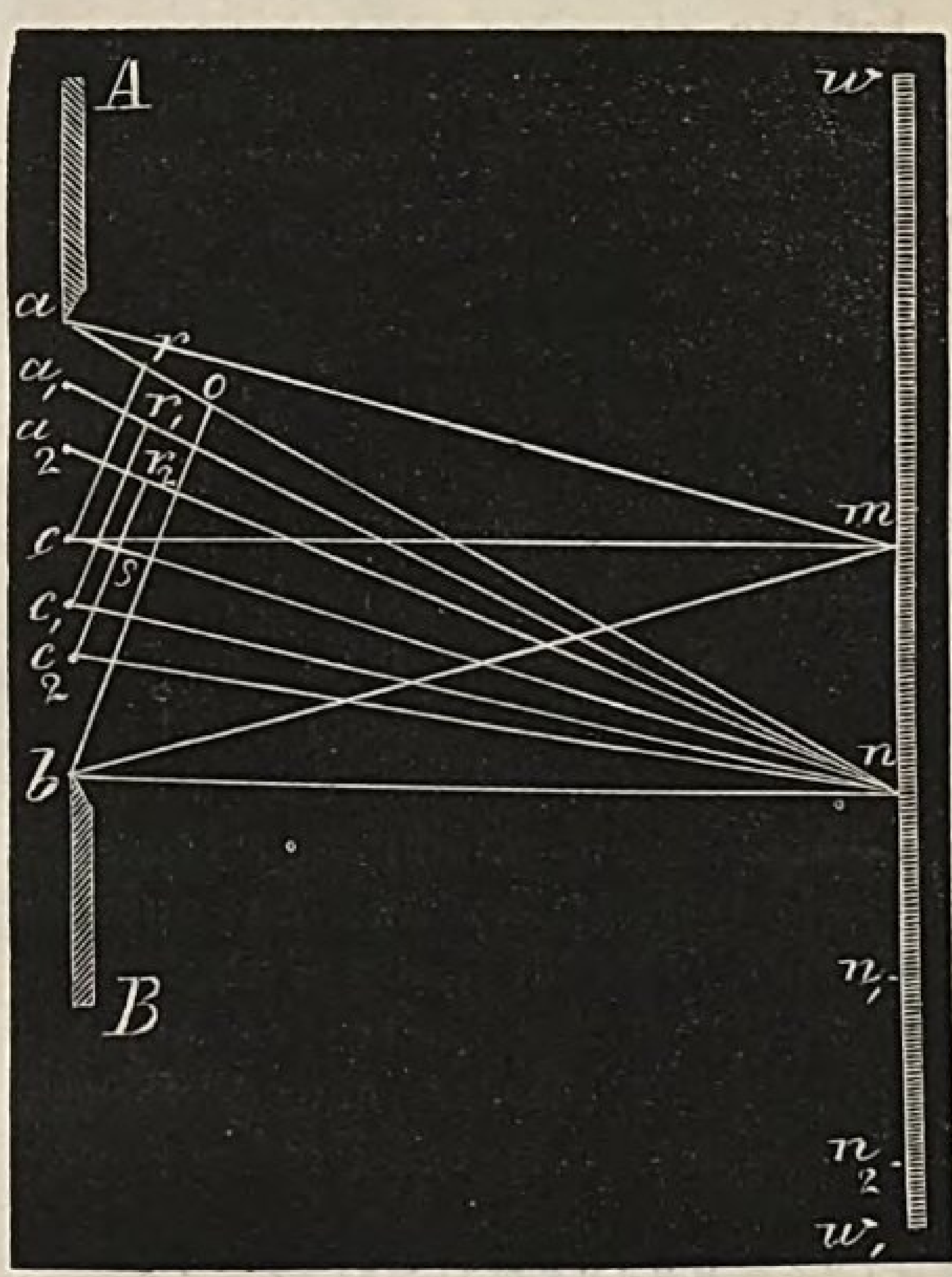
das Roth nach der entgegengesetzten Seite hin gekehrt, bei den dritten Bildern fehlt schon das Violet, und anstatt desselben ist, indem es mit dem äußersten Roth der zweiten Farbenbilder (b_2. b_2) zusammenfällt, Purpurroth vorhanden, und man erkennt deutlich, daß bei jedem vierten u. s. w. folgenden Farbenbilde eine Mischung von immer mehreren seiner Farben mit jenen des nächst vorhergehenden Bildes vor sich gegangen ist, während die der Mitte a näheren, hellsten Farbenbilder ganz aus homogenem Lichte bestehen (so nämlich, daß jede ihrer prismatischen Farben nur Licht derselben Farbe enthält,) was aus dem Umstande hervorgeht, daß man darin bei gehöriger Einstellung des Fernrohr-Oculars alle S. 650 mit **B**, **C**, **D**, **E**, **F**, **G**, **H** bezeichneten Fraunhofer'schen schwarzen Linien deutlich sieht, welche, nach **300**, das charakteristische Kennzeichen der Homogenität des Lichtes eines prismatischen Farbenbildes sind. Ferner finden folgende Gesetze statt: 1) Bei verschiedenen Gittern ist der Sinus des Ablenkungswinkels eines und desselben Farbenstreifens (oder vielmehr einer und derselben Fraunhofer'schen Linie) von der Mitte des centralen weißen Streifens dem Abstande der Mittelpunkte zweier auf einander folgenden Oeffnungen verkehrt proportional; und 2) bei einem und demselben Gitter bilden die Sinus der Ablenkungswinkel des nämlichen farbigen Strahles (der nämlichen Fraunhofer'schen Linie) in den auf einander folgenden Farbenbildern eine arithmetische Reihe, deren Differenz dem ersten Gliede gleich ist. Macht man den ganzen Versuch mit homogenem Lichte, d. h. so, daß von der Lichtlinie aus auf das Gitter nicht weiße, sondern einfärbige (rothe oder gelbe u. s. w.) Strahlen gelangen, so erscheint eine Reihe heller Streifen, welche die Farbe des auf das Gitter fallenden Lichtes haben, mit dunkeln Zwischenräumen abwechseln und ganz dem Bilde der Lichtlinie gleichen, welches man durch das Fernrohr ohne Anwendung des Gitters sieht.

3. Beugung des Lichtes durch einen undurchsichtigen schmalen Körper. Bringt man in das Strahlenbündel, welches von der oft genannten, als Lichtquelle dienenden Lichtlinie oder der Spalte im Fensterladen ausgeht, und dieser Linie oder Spalte (die wir wieder als vertikal annehmen wollen) parallel, einen geraden dünnen Draht oder einen andern schmalen, undurchsichtigen Körper und hinter diesen eine weiße Wand oder eine mattgeschliffene Glastafel; so sieht man auf dieser anstatt eines bloßen Schattens des Drahtes oder überhaupt undurchsichtigen Körpers eine Art Farbenbild, welches dieselbe Gestalt, nur eine viel größere Breite hat, als der Schatten, den man erwartet hätte. In der Mitte desselben, gerade an der Stelle, wo der dunkelste Schatten sein sollte, befindet sich ein heller Streifen und zu beiden Seiten desselben dunkle Linien, welche, so wie der helle Streifen, der Lichtlinie oder Spalte parallel sind. Bei größerer Entfernung der Wand oder der Glastafel vom beugenden Drahte oder dgl. zeigen sich nur zwei solche Linien, bei geringerer Entfernung aber mehrere, zu deren Wahrnehmung man jedoch eines Vergrößerungsglases, dann aber keiner Wand oder Glastafel bedarf, indem sich, wenn man durchs Vergrößerungsglas nach dem Drahte hinsieht, die Erscheinung in der Luft zeigt. Außerhalb der dunkeln Linien sind auch noch einige Farbensäume vorhanden. Sendet die Spalte oder Lichtlinie dem undurchsichtigen beugenden Körper homogenes (einfarbiges) Licht zu, was auch hier wieder dadurch erzielt wird, daß man das ursprünglich weiße Licht, bevor es zum beugenden Körper gelangt, in früher angegebener Weise durch ein farbiges Glas leitet; so sieht man innerhalb des Schattenraumes mit dunkeln Streifen abwechselnde helle Streifen von der Farbe des angewendeten homogenen Lichtes, und auch außerhalb des Schattens findet sich auf beiden Seiten desselben eine Reihe heller Streifen, die breiter und lichtstärker sind als die ersteren.

336. Erklärung der Lichtbeugungsphänomene nach der Vibrationshypothese.

1) Erklärung der Beugung durch Eine Spalte. Es stelle A B in Fig. 677 den Schirm, a b die Breite der beugenden Spalte darin vor, und es falle senkrecht auf diese homogenes (einfarbiges z. B. rothes) Licht . . . (1). Wegen der großen Entfernung der Lichtquelle kann man die von einem Punkte derselben an die Spalte gelangenden Strahlen als unter einander parallel, mithin das Stückchen der Kugeloberfläche jeder von diesem Punkte ausgehenden Welle, welches die Spalte a b trifft, als eine Ebene betrachten, welche mit jener der Spalte zusammenfällt. Es folgt hieraus, daß sich die in der Spaltöffnung gelegenen Aethertheilchen als gleichweit entfernt von der Lichtquelle ansehen lassen, und daß daher bei der Fortpflanzung der von der Lichtquelle ausgehenden schwingenden Bewegung alle diese Theilchen, in einem und demselben Momente, in unter einander ganz gleiche Schwingungszustände versetzt werden . . . (2) Da jedes Aethertheilchen die Schwingungsphase, in der es sich befindet, nach allen Richtungen fortpflanzt, und demnach, wie wenn es ein selbstleuchtendes Theilchen wäre, für sich als Mittelpunkt (Ausgangspunkt) eigener Wellen zu betrachten ist; so treffen in jedem hinter der Spalte befindlichen Punkte von in der beugenden Spalte a b gelegenen Aethertheilchen her Strahlen zusammen, es werden sich davon diejenigen im besagten Punkte interferiren, für welche die Bedingungen der Interferenz, daß sie nämlich von einerlei Lichtquelle kommen (was hier der Fall ist), ferner unter hinreichend kleinen Winkeln zusammentreffen, erfüllt sind, je nach den Schwingungszuständen, die durch sie gleichzeitig auf das im Zusammentreffungspunkte befindliche Aethertheilchen übertragen werden, einander gegenseitig verstärken, schwächen oder vernichten, so daß dieser Punkt heller oder weniger hell, als wenn er von der Lichtquelle unmittelbar ohne Vorhandensein der Spalte beleuchtet worden wäre, oder aber völlig dunkel erscheint.

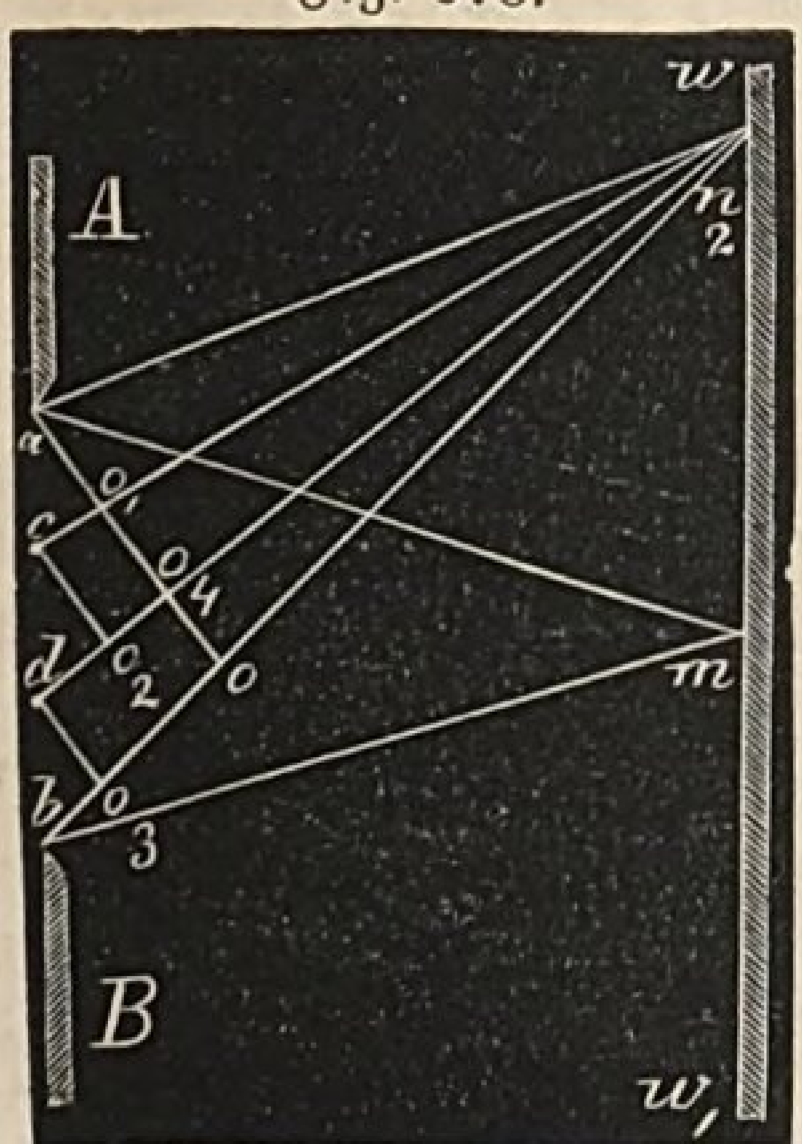
Fig. 677.



I. Stellt, um einen bestimmten Fall der Darstellung des Beugungsphänomens im Auge zu haben, w w_1 (Fig. 677), die in bedeutender Entfernung gedachte Wand vor, womit dieses Phänomen aufgefangen wird, so treffen im Punkte m derselben, welcher in der durch die Mitte c der Spalte und senkrecht auf die Wand gedachten Linie c m liegt, von allen in der Spalte a b gelegenen Aethertheilchen nahe gleich lange Strahlen, deren Wegdifferenz als Null anzusehen ist, ein; es werden demnach und gemäß (2) auf das Aethertheilchen in m von allen Aethertheilchen in a b her jeden Augenblick nur einerlei Schwingungszustände übertragen, die sich gegenseitig unterstützen, und es kann daher im Punkte m nur Verstärkung des Lichtes Statt finden, dieser muß also gemäß (1) intensiv roth erscheinen. — II. Zu jedem seitwärts von der Mittellinie c m gelegenen Punkt der Wand, z. B. zum Punkte n, gelangen von den Aethertheilchen in a b nur ungleich lange Strahlen, und es kann offenbar bloß von der Differenz der Wege dieser Strahlen abhängen, ob n hell oder dunkel, und mehr weniger hell oder

dunkel erscheint. Immer muß, — da auf n wegen der unendlich vielen Abstufungen in der Ungleichheit der Länge der dahin gelangenden Strahlen jedenfalls auch Schwingungszustände gleichzeitig übertragen werden, die einander mehr oder weniger entgegengesetzt sind und schwächen oder vernichten, — die Lichtintensität in diesem Punkte n geringer sein als in m. Hiernach und da diese Ursache der Schwächung oder Vernichtung mit der seitlichen Distanz des Punktes n von m wächst (was aus dem Folgenden noch mehr erhellen wird), muß die Lichtintensität zu beiden Seiten von m und nach Maßgabe der Entfernung abnehmen, wie sich dies in der Erfahrung auch wirklich zeigt. — **III.** Liegt der Punkt n so, daß $ao = an - bn$, d. h. der Unterschied (a o) seiner Abstände (a n und $on = bn$) von den Spalte-Rändern a b gleich ist der Wellenlänge (λ) des auf die Spalte fallenden (im beispielsweise hier vorausgesetzten Falle des rothen) Lichtes; so vernichten sich alle Schwingungen, welche durch die in der Spalte gelegenen Aethertheilchen auf das Theilchen in n übertragen werden, und der Punkt n erscheint völlig dunkel. Denn da die Spaltbreite a b und wegen der größern Entfernung des Punktes n von der Spalte auch der Winkel a n b sehr klein ist, so ist der Unterschied $an - rn$ d. i. a r gleich $\frac{1}{2}ao$ gleich $\frac{1}{2}\lambda$ anzunehmen, und eben so läßt sich auch die Differenz ($a_1 r_1$, $a_2 r_2$ u. s. w.) der Abstände des Punktes n von je zwei in der Spalte gegen a und c gleichgelegenen Aethertheilchen (a_1, c_1 oder a_2, c_2 u. s. w.) $= \frac{1}{2}ao = ar = \frac{1}{2}\lambda$ ansehen, so daß die Gleichungen $a_1 n - c_1 n = a_1 r_1 = ar = \frac{1}{2}\lambda$, ferner $a_2 n - c_2 n = a_2 r_2 = ar = \frac{1}{2}\lambda$ u. s. w. bestehen; es sind daher die Wege, welche die von a und c und von je zwei gegen diese Punkte gleichgelegenen Aethertheilchen nach n gelangenden Wellen bis dahin zurücklegen, paarweise um eine halbe Wellenlänge verschieden, und es kommen mithin dem Theilchen in n gleichzeitig von sämmtlichen in der Spalte befindlichen Aethertheilchen paarweise entgegengesetzte Schwingungszustände zu. Da jedes solche Paar (entgegengesetzter Schwingungszustände) sich selbst vernichtet, so findet auch eine Vernichtung sämmtlicher Schwingungszustände statt, die auf das Aethertheilchen in n übertragen werden, dieses kann also nicht vibriren und es muß demnach in n Dunkelheit herrschen . . . (2). — **IV.** Letzteres wird auch bei jenen weiter von m entfernt z. B. in n_1, n_2 . . . gelegenen Punkten der Fall sein, für welche der Reihe nach die Unterschiede der Abstände von den Rändern a und b der Spalte 2 oder 3 Wellenlängen, überhaupt ein Vielfaches einer Wellenlänge betragen. Denn gesetzt, es wäre für n die Abstandsdifferenz $an - on$ oder $ao = 2\lambda$, so hätte man offenbar $an - cn$ oder $ar = \frac{1}{2}ao = \lambda$ und auch $cn - bn$ oder $cp = ar = \lambda$; es würde daher sowohl von den Schwingungszuständen, welche die Aethertheilchen a, c und die zwischen ihnen befindlichen,

Fig. 678.

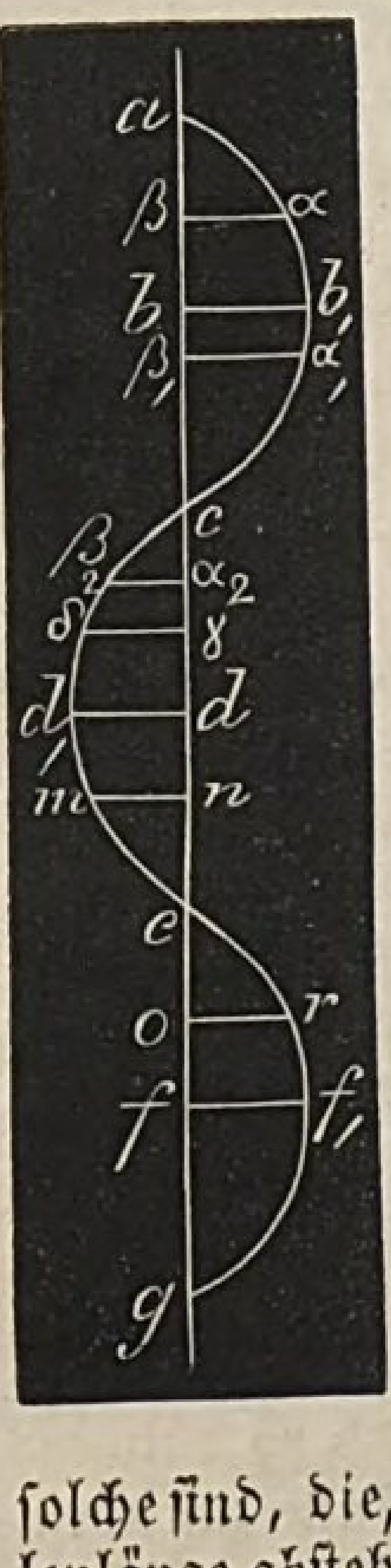


als auch von jenen Schwingungszuständen, welche die Theilchen c, b und sämmtliche zwischen gelegene auf n übertragen, genau dasselbe gelten, was eben vorher unter (2) von den Schwingungszuständen dargethan wurde, die sämmtliche von a bis b vorhandene Aethertheilchen dem Punkte n in dem Falle zusenden, daß $an - bn = \lambda$ ist, sie würden sich nämlich in ihrer Gesammtheit vernichten. Das nothwendige Stattfinden von Dunkelheit in einem Punkte z. B. n_2 (Figur 678), dessen Abständedifferenz $ob = bn_2 - on_2$ 3λ beträgt, leuchtet ein, wenn man sich die Spaltbreite a b in 3 gleiche Stücke a c, c d, d b getheilt denkt. Denn es kann, in Rücksicht auf die Kleinheit der Spalte und die Entfernung des Punktes n_2 von derselben, offenbar jede der Abständedifferenzen co_1, do_2

$b\,o_3$, welche dem Punkte n_2 in Bezug auf die Aethertheilchen in a und c, in c und d, endlich d und b zukommen $= \lambda$ angenommen werden. Von den Schwingungszuständen, welche jedes der Wellenstücke ac, cd und db für sich auf n_2 überträgt, so wie von ihrer Gesammtheit, läßt sich aber genau das oben unter (2) Nachgewiesene behaupten; mithin muß auch der Punkt n_2 dunkel erscheinen, und man sieht schon, daß sich ein gleiches Räsonnement auch auf die Punkte anwenden lasse, für welche die Unterschiede der Abstände von den Spalterändern 4λ, 5λ u. s. f. betragen.

Denkt man sich in der früheren Figur 677 den Punkt n so gelegen, daß die Differenz ($an - on = ao$) seiner Abstände von den Spalte-Rändern $\frac{1}{2}\lambda$ beträgt; so erscheint dieser Punkt hell, nach der Voraussetzung unter (1) S. 752 also roth. Denn dann ist jede der Differenzen $a\,r$, $a_1\,r_1$, $a_2\,r_2$ . . . der Abstände des Punktes n von a und c, von a_1 und c_1, von a_2 und c_2 u. s. f. $= \frac{1}{4}\lambda$ zu setzen, und es ist die gegenseitige Einwirkung der Schwingungszustände, welche von jedem dieser Aethertheilchen-Paare (a und c, a_1 und c_1, a_2 und c_2 u. s. w.) auf das Theilchen in n übertragen werden, mithin auch die Gesammtwirkung sämmtlicher in n zusammentreffender Schwingungszustände eine solche, daß dieser Punkt (n) hell erscheint. Daß aber aus der Interferenz von Strahlen, deren Wege bis zum Interferenzpunkt hin um $\frac{1}{4}$ einer Wellenlänge verschieden sind, Helligkeit resultiren müsse, zeigt ein Blick auf die Fig. 679, worin a, $b\,b_1$, c, $d\,d_1$, e, $f\,f_1$ . . . Schwingungsphasen darstellen, die dem Wegunterschiede von $\frac{1}{4}$ Wellenlänge entsprechen, und man sieht, daß, wenn ein und dasselbe Aethertheilchen gleichzeitig durch eine Welle in die Phase $b\,b_1$, $d\,d_1$ oder $f\,f_1$ und durch eine zweite Welle in die Phase a, oder c oder e versetzt wird, das Resultat Licht von der nämlichen Intensität ist, wie sie in demselben Augenblicke die Welle für sich erzeugen würde. Wird auf das besagte nämliche Aethertheilchen durch die eine Welle eine zwischen a und $b\,b_1$ gelegene Phase z. B. $\alpha\beta$ oder eine zwischen c und $d\,d_1$ z. B. $\gamma\delta$ übertragen, während es durch eine andere Welle die dem Wegunterschiede von $\frac{1}{4}$ Wellenlänge entsprechende respektive Phase empfängt; so stimmen diese gleichzeitig übertragenen Phasen mit einander überein und es ist Lichtverstärkung die nothwendige Folge, da die Wirkung beider Wellen auf das Aethertheilchen offenbar größer ist, als jene, die jede einzelne Welle für sich in dem nämlichen Augenblicke üben würde. Durch eine ähnliche Betrachtung wird ferner klar, daß auch in allen Fällen, wo gleichzeitig auf ein und dasselbe Aethertheilchen um $\frac{1}{4}$ Wellenlänge von einander abstehende, aber nicht übereinstimmende Phasen, wie z. B. $\alpha_1\beta_1$ und $\alpha_2\beta_2$, übertragen werden, der Erfolg der Interferenz ebenfalls Licht, wenn gleich geschwächtes (weil die Lichtstärke durch die Größe des Unterschiedes $\alpha_1\beta_1 - \alpha_2\beta_2$ bedingt ist) sein werde, den einzigen Fall ausgenommen, daß die besagten gleichzeitig übertragenen Phasen gerade solche sind, die, wie mn und or, von einer Gleichgewichtsphase beiderseits um $\frac{1}{8}$ Wellenlänge abstehen und sich völlig tilgen. Aus der eben angestellten Betrachtung folgt aber nicht bloß, daß der Punkt n (Fig. 677), unter der Voraussetzung, der Unterschied seiner Abstände von den Spalte-Rändern betrage $\frac{1}{2}\lambda$, hell, sondern auch zugleich, daß er weniger hell erscheinen müsse, als ein Punkt, für welchen dieser eben besagte Abstände-unterschied $= o$ und um so mehr als ein Punkt, für welchen dieser Unterschied $= \lambda$ ist. Denn auf den letztgenannten Punkt werden von allen in der Spalte ab liegenden Aethertheilchen nur lauter übereinstimmende, sich verstärkende Phasen übertragen, während, wie wir eben vorher gesehen haben, unter den Phasen, welche von diesen Aethertheilchen in dem ersteren Punkte (n) gleichzeitig ankommen, sich auch nicht

Fig. 679.



übereinstimmende, einander theils schwächende und theils tilgende Phasen befinden...(3). Daß auch in einem Punkte Helligkeit herrschen müsse, für welchen die Differenz der Abstände von den Spalte-Rändern $\frac{3}{2}\lambda$ d. i. drei halbe Wellenlängen beträgt...(4), begreift man nach Vorstehendem wieder leicht mit Hilfe der früheren Fig. 678. Denn stellt n_2 einen so gelegenen Punkt vor, daß dessen Abstände-Differenz $b\,n_2 - o\,n_2 = o\,b$ gleich $\frac{3}{2}\lambda$ ist, und man denkt sich die Spaltbreite ab in 3 gleiche Theile ac, cd und db getheilt, so läßt sich offenbar jede der Abstände-Differenzen $c\,o_1$, $d\,o_2$, $b\,o_3$, welche dem Punkte n_2 in Bezug auf die Aethertheilchen in a und c, in c und d, und endlich in d und b zukommen, als $= \frac{1}{2}\lambda$ und seine Abstände-Differenz ($d\,o_4$) in Bezug auf a und d als $= 2.\frac{1}{2}\lambda = \lambda$ ansehen. Da nun, gemäß früher Nachgewiesenem, die Schwingungsphasen, welche das Wellenstück a d auf n_2 überträgt, sich gegenseitig vernichten [man sehe oben unter (2)], hingegen das Resultat des Zusammentreffens der von dem Wellenstücke d b auf n_2 übertragenen Schwingungszustände Helligkeit ist; so ist die vorstehende Behauptung (4) dargethan. Durch Ausdehnung dieses Räsonnements läßt sich, wie man von selbst begreift, in ähnlicher Weise auch von den Punkten, für welche die Differenzen der Abstände von den Spalterändern $\frac{5}{2}\lambda$, $\frac{7}{2}\lambda$ u. s. f. betragen, leicht zeigen, daß auch sie hell erscheinen müssen. Endlich stellt sich aus dem Gesagten zugleich eine Abnahme in der Lichtintensität der hellen Punkte nach Maßgabe ihrer Abstände vom mittleren Punkte m als nothwendig dar. Denn gemäß (3) ist der Punkt (n) von der Abstände-Differenz $\frac{1}{2}\lambda$ weniger hell als der mittlere Punkt m; da ferner die Helligkeit im Punkte n_2 (von der Abstände-Differenz $\frac{3}{2}\lambda$) durch ein Wellenstück db (Fig. 678) erzeugt wird, das nur ein Drittel des Wellenstückes ab beträgt, welches den eben näher bezeichneten hellen Punkt n hervorbringt, so ist die Lichtintensität in n_2 wieder kleiner als in n, u. s. w.

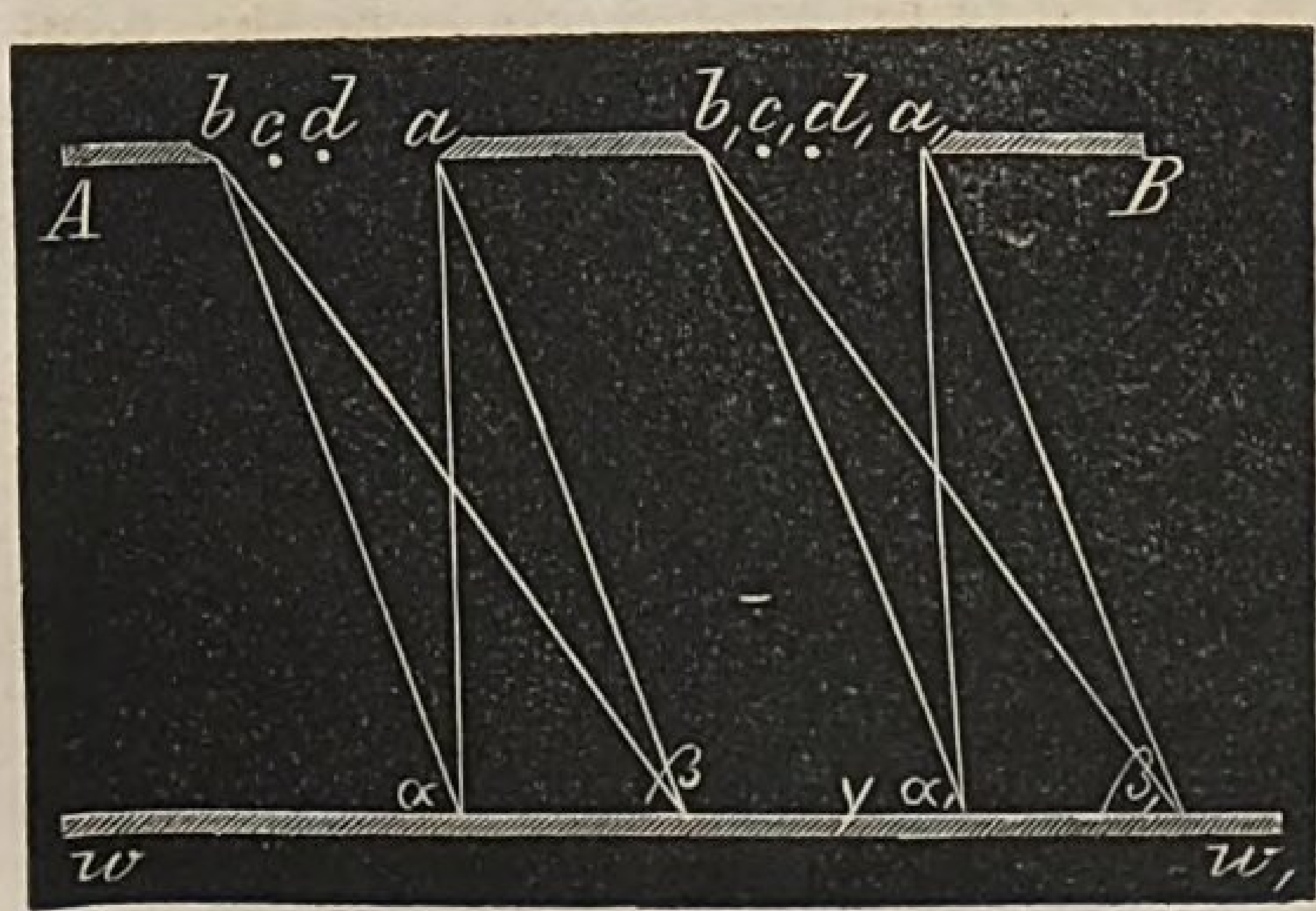
In dem rechtwinkligen Dreiecke aob Fig. 677 hat man ao = ab sin. abo, mithin ist, da wegen Aehnlichkeit der Dreiecke aob und ncm (indem ihre Seiten wechselweise auf einander senkrecht stehen) die Winkel abo und ncm gleich sind, auch ao = ab . sin. ncm und hiernach $\sin.\ ncm = \frac{ao}{ab}$...(5). Stellt nun n den ersten dunkeln Punkt (von der Mitte m an gerechnet) vor, so muß nach Früherem die Wegdifferenz ao der Spalterand-Strahlen (an und bn) = λ d. i. gleich einer Wellenlänge sein. Bestimmt man daher durch Messung des Winkelabstandes dieses ersten dunkeln Punktes n von der Mitte m des Beugungsphänomens die Größe sin. ncm, so gibt die Gleichung (5) nach Substitution dieser Größe und des ebenfalls durch Messung gefundenen Werthes der Spaltbreite ab, die Wellenlänge λ (= ao) für das der Beugung unterworfene homogene (einfarbige) Licht. Dieses Verfahren, auf die in den verschiedenen homogenen Lichtgattungen des Spektrums sich zeigenden Beugungsphänomene angewendet, gibt ziemlich genau die Wellenlänge für alle diese Lichtgattungen. Eine ganz genaue Bestimmung der Wellenlängen ist aber nur bei der Fraunhofer'schen Methode, nach welcher das Beugungsphänomen durch ein Fernrohr betrachtet wird und nur in dem Falle, daß die Beugung durch feine Gitter geschieht, erreichbar (S. 747). Es sollte durch Vorstehendes auch nur der Weg angedeutet werden, auf welchem sich die Längen der Lichtwellen bestimmen lassen. Umgekehrt lassen sich mittelst der Gleichung (5), die Wellenlänge λ als bekannt (auf eben angedeutete Art gefunden) vorausgesetzt, die Stellen der nach einander folgenden dunkeln Punkte (die Ablenkungswinkel dieser Punkte von der Mitte m) bestimmen. Man hat nämlich zu diesem Ende, da die Wegdifferenzen der Spalterandstrahlen für den 2ten, 3ten, 4ten 2c. der dunkeln Punkte 2, 3, 4 2c. 2c. Wellenlängen betragen, in der besagten Gleichung (5) für a o nach und nach bloß die Werthe von 2λ, 3λ, 4λ 2c. 2c. und für ab die gemessene Spaltbreite zu setzen. Die Ergebnisse einer solchen

Bestimmung stehen ganz im Einklange mit dem, was der Versuch zeigt, eben so wie die Aussage der Gleichung $\sin. ncm = \frac{\lambda}{ab}$, nämlich, daß der Sinus des Ablenkungswinkels für den ersten dunklen Punkt oder was dasselbe ist, die Breite jedes der ersten farbigen Seitenbilder des Beugungsphänomens der Wellenlänge des Lichtes direkt und der Breite der Spaltöffnung umgekehrt proportional ist, ganz mit der Erfahrung übereinstimmt. In der That nehmen diese Bilder vom rothen zum violeten Lichte hin ab und sind unter sonst gleichen Umständen bei 2=, 3=, 4mal breiterer Spalte, auch 2=, 3=, 4mal schmäler.

Daß, was bisher von den farbigen und dunkeln Punkten, die das Resultat der in einem Querschnitt der Spalte vor sich gehenden Beugung sind, dargethan wurde, im ganzen Maße auch Anwendung auf die dunkeln und farbigen Streifen leide, welche durch die in allen übereinander liegenden Spalte=Querschnitten vor sich gehende Beugung entstehen müssen, versteht sich von selbst. Eben so leuchtet ein, daß das Phänomen, welches durch die in einer Spalte stattfindende Beugung des weißen Lichtes erhalten wird, und schon an einem früheren Orte beschrieben wurde, das Resultat der Uebereinanderlagerung aller der Beugungsbilder sein müsse, welche den einzelnen farbigen Bestandtheilen des weißen Lichtes entsprechen. Ganz so, wie die Beugung durch eine feine Spalte, erklärt sich auch das durch eine quadratähnliche Oeffnung entstehende, in Fig. 673 dargestellte Beugungsphänomen. Jedes der zwei Paare der einander gegenüberstehenden Ränder der Oeffnung wirkt nämlich wie eine Spalte, erzeugt eine Reihe von Farbenbildern, die jener durch eine Spalte hervorgebrachten in der Wesenheit völlig gleicht, und so entsteht das Farbenbilderkreuz. Bei einer kreisrunden beugenden Oeffnung wirken je zwei diametral gegenüberliegende Punkte ihres Randes, wie zwei Gegenpunkte der Ränder einer Spalte, daher das in der früheren Figur 674 anschaulich gemachte System concentrischer Ringe.

2. Erkärung der Beugung durch zwei oder mehrere Spalten. Treffen die von der Lichtlinie ausgehenden Strahlen in dem Schirme, mit welchem sie aufgefangen werden, senkrecht an zwei oder mehrere gleiche und gleichweit von einander abstehende (der Lichtlinie und unter sich) parallele feine Spalten, so erzeugt jede der letzteren nach den bei der Beugung in einer Spalte stattfindenden Gesetzen ein Beugungsphänomen, gerade so, als wenn sie nur allein vorhanden wäre, und die so von den einzelnen Spalten erzeugten Beugungsbilder fallen über einander (ohne sich jedoch gegenseitig vollkommen zu decken). Dabei verstärken sie sich an gewissen Stellen, an andern hingegen schwächen sie sich und es findet überhaupt ein Hergang Statt, welcher der Hauptsache nach aus Nachstehendem klar werden wird. Es stelle (Fig. 680) **A B** den Schirm, a b und a_1 b_1 zwei in demselben vorhandene, (nahe) gleiche und parallele Spalten vor, und es wird vorausgesetzt, es falle auf sie senkrecht homogenes (einfarbiges) Licht. Es sei ferner **w** $\mathbf{w_1}$ die Tafel, womit das Beugungsphänomen aufgefangen wird (oder das Gesichtsfeld des Fernrohrs) und α, β, γ ... seien die der Beugung bloß durch die Spalte **a b** entsprechenden dunkeln Punkte im Beugungsbilde auf einer Seite der Mitte

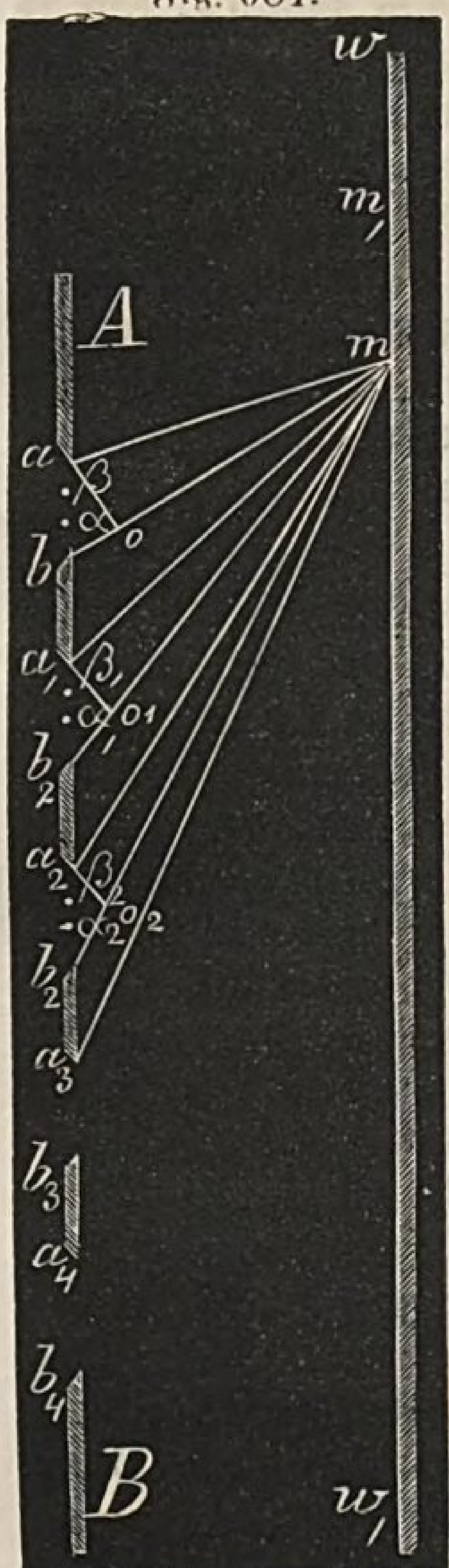
Fig. 680.



desselben, also Punkte, für welche der Reihe nach die Wegdifferenz der Spalterand-Strahlen λ, 2λ, 3λ, ... beträgt, wenn λ wieder die Länge einer Welle des gebeugten Lichtes bedeutet. Eben solche dunkle Punkte α_1, β_1, γ_1 ... werden auf der Tafel auch zu Folge der Beugung durch die zweite Spalte $a_1 b_1$ entstehen, und es muß offenbar, da in beiden ganz gleichen Spalten die Beugung der nach parallelen Richtungen in ihnen anlangenden Strahlen auch in ganz gleicher Weise erfolgt, jeder der zuletzt erwähnten Punkte von dem correspondirenden Punkte der anderen Reihe (α, β, γ...) um die nämliche Größe ($a\,a_1$) entfernt liegen, um welche die correspondirenden Ränder der zwei Spalten von einander abstehen, so daß $\alpha\alpha_1 = \beta\beta_1 \ldots = a\,a_1$ ist. Da die Breite sowohl jeder der Spalten als ihres Zwischenraumes ($a b_1$) stets sehr klein vorausgesetzt wird, so ist auch $a\,a_1$ eine so kleine Größe, daß die correspondirenden dunkeln Stellen beider Beugungsbilder, nämlich die Stellen α und α_1, β und β_1 u. s. f. beinahe zusammenfallen, so daß sie einander fast decken und sich in ihrer Wirkung auf das Auge gegenseitig unterstützen und verstärken. (Bei Betrachtung des Phänomens mittelst des Fernrohres nach der Fraunhofer'schen Methode ist das besagte Zusammenfallen und Decken ein vollkommenes, da das Fernrohr alle parallel auf das Objectiv gelangenden Strahlen, also auch $a\alpha$ und $a_1\alpha_1$, $b\alpha$ und $b_1\alpha_1$ u. s. w. in einen Punkt vereinigt.) Es sind daher in dem Beugungsbilde, welches durch zwei Spalten (der vorausgesetzten Art) erhalten wird, dunkle Stellen vorhanden, deren Lage die nämliche ist und daher auch durch dieselbe Gleichung $\sin.\ \varphi = \frac{\delta}{a}$ ..(I), bestimmt wird, wie bei dem durch eine Spalte erzeugten Beugungsbilde. Setzt man in dieser Gleichung, wo allgemein φ den Ablenkungswinkel eines betreffenden dunkeln Punktes von der Mitte des letztgenannten Beugungsbildes, δ die Wegdifferenz der zu diesem Punkte gehörigen Spalterand-Strahlen und a die Breite der Spalte bedeutet (man sehe S. 755), anstatt δ nach und nach λ, 2λ, 3λ 2c. ..., so ergeben sich die Abstände (Ablenkungen) der oben besprochenen, in dem durch zwei Spalten erzeugten Beugungsphänomene von der Mitte aus nach einander folgenden dunkeln Stellen. Außer diesen dunkeln Stellen zeigen sich in dem Phänomene aber auch noch andere, welche dadurch erzeugt werden, daß von beiden Spalten ausgehende Strahlen vernichtend auf einander einwirken. Eine solche Einwirkung findet nämlich in jedem Punkte (γ, γ_1, γ_2, ...) statt, für welchen die Differenz seiner Abstände von den Spalterändern $b\,b_1$ (Fig. 680) oder was wegen Kleinheit der Spalten und der größeren Entfernung der Tafel $w\,w_1$ von denselben einerlei ist, die Differenz der Abstände von den Mittelpunkten der Spalten $\frac{1}{2}\lambda$ oder $\frac{3}{2}\lambda$ oder $\frac{5}{2}\lambda$ u. s. w., d. i. eine halbe Wellenlänge oder ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt. Denn dann beträgt auch die Differenz des Abstandes von je zwei Punkten z. B. c, c_1 oder d, d_1 u. dgl., die in den Spalten gleichweit von b und b_1 entfernt liegen (so daß $bc = b_1c_1$, $bd = b_1d_1$, ... ist), für den Punkt γ, $\frac{1}{2}\lambda$, für γ_1, $\frac{3}{2}\lambda$, für γ_2, $\frac{5}{2}\lambda$ u. s. f., es werden daher von zwei Aethertheilchen, welche in solchen gegen b und b_1 gleichgelegenen zwei Punkten (c, c_1 oder d, d_1 ...) sich befinden, also von allen in beiden Spalten gelegenen Aethertheilchen auf jene in γ, γ_1, γ_2 ... jeden Augenblick entgegengesetzte Schwingungsphasen übertragen, die sich vernichten. Die Lage aller der Punkte (γ, γ_1, γ_2, γ_3 ...), welche aus diesem Grunde dunkel erscheinen müssen, wird mittelst der Gleichung $\sin.\ \varphi = \frac{n\lambda}{b}$ gefunden, welche ganz auf demselben, S. 755 auseinander gesetzten Wege, wie die dort abgeleitete oder die oben stehende Gleichung (I) erhalten wird, und worin φ wieder den Ablenkungswinkel der in Rede stehenden dunkeln Punkte, b den Abstand der Mittelpunkte beider Spalten bedeutet und für n der Reihe nach die Werthe $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{7}{2}$ ... zu setzen sind.

Vergleicht man die nach dieser Gleichung und nach jener unter (I) für die Ablenkungen der verschiedenen dunkeln Stellen gefundenen Werthe mit den Werthen, welche sich für diese Ablenkungen durch direkte Messungen derselben ergeben, so findet man beide, und somit die Theorie mit der Erfahrung völlig übereinstimmend. Eine gleiche Uebereinstimmung zeigt sich bezüglich der hellen Stellen des Beugungsbildes. Offenbar muß in jenen Punkten auf ww_1 die größte Lichtstärke herrschen, auf welche durch je zwei in den Spalten ab und a_1b_1 von den Rändern b und b_1 gleichweit entfernt gelegenen Aethertheilchen (d. i. von den Theilchen in c und c_1, in d und d_1 u. s. w.), mithin von allen in den Spalten befindlichen Aethertheilchen im nämlichen Augenblicke gleiche Schwingungsphasen übertragen werden, für welche also die Differenz der Abstände von b und b_1 oder von den Mitten der Spalten eine oder mehrere ganze Wellenlängen beträgt und deren Lage auf ww_1 der Reihe nach daher auch mittelst der obigen Gleichung $\sin. \varphi = \frac{n\lambda}{b}$ erhalten wird, wenn man darin für n nach und nach die Zahlen 1, 2, 3, 4 . . . setzt. Das bei der Beugung des weißen Lichtes in zwei Spalten entstehende Phänomen ist wieder das Resultat der Uebereinanderlagerung der einzelnen der verschiedenen Farbengattungen dieses Lichtes entsprechenden Beugungsbilder; man findet somit das Wesentliche seiner Erklärung nach den bisher vorgetragenen Prinzipien leicht von selbst.

Fig. 681.



3. **Erklärung der Beugung durch Gitter.** Es sei in Fig. 681 **AB** das Gitter; ab, a_1b_1, a_2b_2 . . . seien die durchsichtigen Theile (die Spalten) desselben und ba_1, b_1a_2, b_2a_3 . . . die sie scheidenden undurchsichtigen Zwischenräume; die Spalten seien gleich breit und jede um ihre Breite von der nächsten abstehend . . . (II). Ferner sei ww_1 die Wand, womit das Phänomen aufgefangen wird (oder das Gesichtsfeld des Fernrohrs) und es falle auf das Gitter wieder nur homogenes Licht auf. Ist endlich m ein Punkt des Beugungsbildes auf ww_1, so läßt sich mit Bezug auf (II) wegen Kleinheit der Breite der Spalten und deren Zwischenräume, so wie in Rücksicht ihrer Entfernung von ww_1 für mehrere Spalten immer annehmen, daß die Differenz der Abstände dieses Punktes von den Mittelpunkten (α, α_1 oder α_1, α_2 . . .) je zweier nächster Spalten oder von je zwei andern in diesen letzteren ähnlich gelegenen Punkten (also auch von a und a_1, a_1 und a_2 ꝛc. ꝛc.) die nämliche sei, so daß $\alpha_1 m - m = {}_2m - {}_1m = {}_3m - {}_2m$ ꝛc. ꝛc. oder $a_1m - am = a_2m - a_1m = a_3m - a_2m$ u. s. w. ist . . . (III). Wir wollen nun zuerst die Stellen des Beugungsbildes bestimmen, wo nach der Vibrationstheorie die größte Lichtstärke herrschen muß. Wären nur zwei Spalten z. B. ab und a_1b_1 vorhanden, so würden, dem Früheren gemäß, diese Stellen durch die obige Gleichung $\sin. \varphi = \frac{n\lambda}{b}$ gegeben sein, worin bekanntlich λ die Wellenlänge, b den Abstand der Mittelpunkte beider Spalten bedeutet und für n nach und nach die Zahlen 1, 2, 3, 4 . . . zu setzen sind. In jedem der so sich ergebenden Punkte herrscht aber deswegen die größte Lichtstärke, weil auf denselben von je zwei in den beiden Spalten ähnlich gelegenen Aethertheilchen z. B. von β und β_1

gleichzeitig stets ganz gleiche Schwingungsphasen, wie sie den stattfindenden Wegdifferenzen λ, 2λ, 3λ . . . entsprechen, übertragen werden. Kommt jetzt zu den besagten zwei Spalten die ihnen gleiche dritte, vierte Spalte ($a_2 b_2$, $a_3 b_3$ u. s. w.) hinzu, so wird auch von jedem Aetherthe ilchen in diesen Spalten auf den Punkt m in dem nämlichen Augenblick dieselbe Schwingungsphase wie von einem in der Spalte ab oder $a_1 b_1$ ähnlich gelegenen Aethertheilchen übertragen*), was nur eine noch größere Lichtverstärkung in m, sonst aber keine Aenderung gegen vorher zur Folge hat, so daß also auch bei einer Reihe von Spalten, d. i., bei einem Gitter, die Orte der größten Lichtstärke mittelst der Gleichung $\sin.\ \varphi = \frac{n\lambda}{b}$ (S. 758) gefunden werden. Die Ergebnisse dieser Formel stimmen ganz mit jenen der Erfahrung überein . . .(†).

Was die Stellen anbelangt, an welchen in dem durch mehrere Spalten erzeugten Beugungsbilde Dunkelheit herrscht, so läßt sich Folgendes leicht einsehen. Die dunkeln Stellen, welche in jedem bloß durch eine der Spalten erzeugten Beugungsbilde vorhanden sind und deren Lage sich nach S. 757 aus der Formel $\sin.\ \varphi = \frac{\delta}{a}$ ergibt (die Bedeutung von δ und a ist die nämliche, wie auf S. 757), bleiben offenbar auch dunkel, wenn neben dieser einen Spalte eine ganz gleiche zweite, dritte 2c. 2c. Spalte so angebracht wird, daß der oben unter (II) gemachten Voraussetzung Genüge geleistet ist. Denn es werden dann auf jede der Beugung durch die besagte eine Spalte entsprechende dunkle Stelle (welche nur zu Folge gegenseitiger Vernichtung der von dieser Spalte daher gelangenden Strahlen entsteht) von einer zweiten, dritten . . . Spalte aus auch nur unter einander sich tilgende Schwingungen übertragen. Wäre z. B. in Fig. 681 m eine Stelle, welche bei alleinigem Vorhandensein der Spalte a b dunkel erscheint, weil die Differenz $m b - m a = b o$ eine Wellenlänge oder ein Vielfaches einer solchen beträgt; so muß sie auch beim Hinzukommen der Spalten $a_1 b_1$, $a_2 b_2$... zur Spalte a b dunkel bleiben, weil den oben unter (II) und (III) gemachten Voraussetzungen gemäß auch die Differenzen $m b_1 - m a_1 = b_1 o_1$, $m b_2 - m a_2 = b_2 o_2$ 2c. 2c. einen mit b o gleichen Werth haben, daher die Strahlen des von $a_1 b_1$, oder $a_2 b_2$ u. s. w. nach m gelangenden Bündels sich untereinander eben so vernichten müssen, wie jene, die von a b aus in m zusammentreffen.

Die zahlreichen dunkeln Stellen, welche nebst den eben besprochenen in dem durch mehrere Spalten erzeugten Beugungsbilde vorhanden sind, entstehen dadurch, daß an gewissen Orten von verschiedenen Spalten her Strahlenbündel zusammentreffen, deren jedes für sich allein zu Folge Interferenz seiner Theile an dem betreffenden Orte zwar Helligkeit erzeugen würde, welche daselbst sich aber darum gegenseitig vernichten, weil in den Schwingungen, die sie dahin übertragen, jeden Augenblick Gleichheit der Intensitäten, übrigens aber vollkommener Gegensatz stattfindet. Die Lage der auf diese Art bei der Beugung durch mehrere Spalten entstehenden dunkeln Stellen gibt, der Erfahrung ganz entsprechend, die Formel $\sin.\ \varphi = \frac{q\lambda}{rb}$ . . . (IV), worin, wie früher, φ den Ablenkungswinkel, λ die Wellenlänge und b den gegenseitigen Abstand der Mittellinien zweier einander nächsten Spalten bedeutet, r aber die Anzahl der Spalten und q eine durch r nicht theilbare ganze Zahl vorstellt.

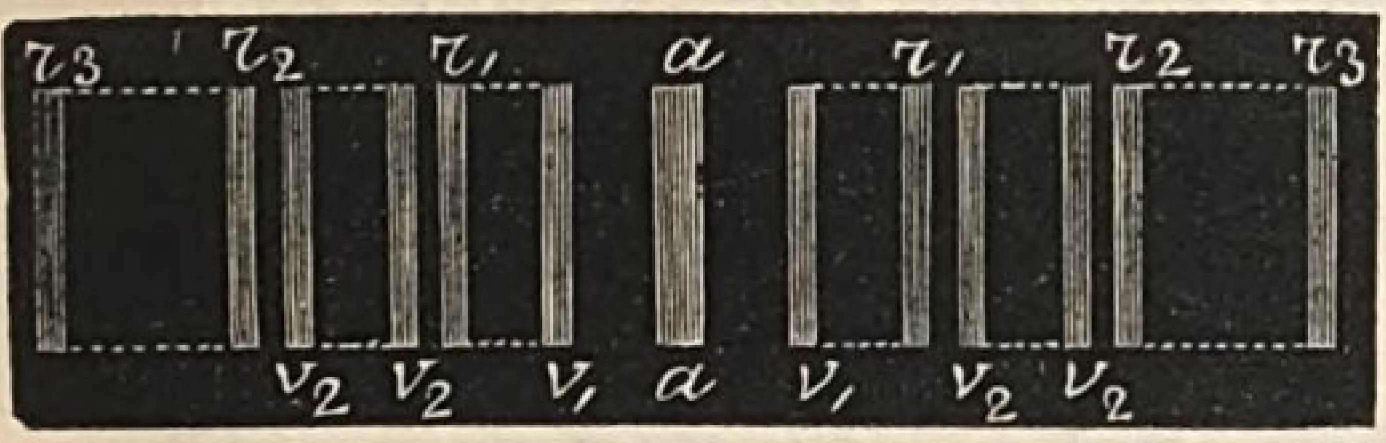
*) Ist z. B. $\beta_1 m - \beta m = \lambda$, so ist gemäß (III) auch $\beta_2 m - \beta_1 m$ und $\beta_3 m - \beta_2 m$ u. s. w. $= \lambda$ und daher sind die Schwingungsphasen, die in demselben Momente von β und β_1, von β_1 und β_2, von β_2 und β_3 und so fort von sämmtlichen in den einzelnen Spalten ähnlich gelegenen Aethertheilchen paarweise übertragen werden, übereinstimmend.

Ein Beispiel wird hinreichen, dies alles klar zu machen. Es seien im Schirme AB (der vorigen Fig. 681) fünf Spalten vorhanden. Ist der Punkt m auf der Wand ww_1 so gelegen, daß die Differenz $a_1m - am = a_2m - a_1m = a_3m - a_2m = a_4m - a_3m = \frac{1}{5}\lambda \ldots$ (†) ist, d. h. ein Fünftel der Wellenlänge beträgt; so herrscht in dem Punkte m Dunkelheit. Es ergibt sich dies aus folgender Betrachtung. In irgend einem Augenblicke wird das Aethertheilchen in m von a her in eine bestimmte Schwingungsphase versetzt. Gegen diese Phase sind die Schwingungsphasen, welche mit ihr gleichzeitig von a_1, a_2, a_3 und a_4 her in m anlangen, der Reihe nach um $\frac{1}{5}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{4}{5}$ der Schwingungsdauer (T) voraus. Denn zu Folge (†) ist $a_1m - am = \frac{1}{5}\lambda$, $a_2m - am = \frac{2}{5}\lambda$, $a_3m - am = \frac{3}{5}\lambda$ und $a_4m - am = \frac{4}{5}\lambda$, es sind daher die Wege, welche das Licht von a_1, a_2, a_3, a_4 bis m zurückzulegen hat, der Reihe nach um $\frac{1}{5}\lambda$, $\frac{2}{5}\lambda$, $\frac{3}{5}\lambda$ . . . größer als jener von a aus, es mußte dasselbe also, um von allen diesen Punkten gleichzeitig in m einzutreffen, von a_1 um $\frac{1}{5}$, von a_2 um $\frac{2}{5}$, von a_3 um $\frac{3}{5}$ und von a_4 um $\frac{4}{5}$ derjenigen Zeit früher ausgehen als vom Punkte a . . . (††), in welcher das Licht um die Länge einer Welle sich fortpflanzt, und welche Zeit, Früherem gemäß, der Schwingungsdauer (T) gleich ist. Das Resultat der so von a, a_1, a_2, a_3, a_4 nach m übertragenen Bewegungen ist nun in dem besagten Augenblicke entweder, daß diese sich in m gegenseitig vernichten, mithin daselbst Ruhe und sonach Dunkelheit herrscht, oder aber daß das Aethertheilchen in m sich in einer bestimmten Schwingungsphase befindet, m also hell erscheint. Angenommen, es fände letzteres statt, so müßte das besagte Aethertheilchen diese nämliche bestimmte Schwingungsphase nach jedem Fünftel der Schwingungsdauer T immer wieder erlangen . . . (†††). Denn nach dieser Zeit $= \frac{1}{5}$ T empfängt zu Folge (††) das Aethertheilchen in m stets von a her denselben Schwingungszustand, der im vorigen Momente von a_1 aus auf dasselbe übertragen wurde. Aus gleichem Grunde wird dann von a_1 derselbe Schwingungszustand wie früher von a_2, von a_2 derselbe wie früher von a_3, von a_3 derselbe wie früher von a_4 auf das Aethertheilchen in m übertragen, und von dem Punkte a_4 her endlich empfängt m die nämliche Phase, wie vorher von a, weil wegen des periodischen Wiederkehrens sämmtlicher Phasen immer nach der ganzen Schwingungsdauer T ein Fortschreiten der schwingenden Bewegung durch $\frac{1}{5}$ T zu derselben Phase führt, wie ein Rückgang durch $\frac{4}{5}$ T. Es werden daher nach je $\frac{1}{5}$ T Zeit auf m von den Punkten a, a_1, a_2, a_3, a_4 . . . und mithin auch von allen mit diesen ähnlich gelegenen Punkten der fünf Spalten ganz die nämlichen Schwingungsphasen, nur immer in anderer Ordnung übertragen, und es muß das Interferenz-Resultat, da dasselbe nur von der Größe, nicht aber von der Ordnung der auf den Interferenzpunkt übertragenen Phasen abhängt, nach je $\frac{1}{5}$ T Zeit immer unverändert das nämliche sein. Es würde also, falls die obige Annahme, m erscheine hell, richtig wäre, das unter (†††) Ausgesprochene wirklich stattfinden, nämlich in m nach jedem Fünftel der Schwingungsdauer T immer wieder derselbe Schwingungszustand zurückkehren müssen. Da aber die Zeit, nach welcher eine solche Wiederkehr eintritt, die Schwingungsdauer ausmacht, so müßte durch die Interferenz der Strahlen in m die ihnen ursprünglich eigenthümlich gewesene Schwingungsdauer T verändert, nämlich auf $\frac{1}{5}$ T herab, gesetzt worden sein, mithin nach (†) S. 738 das im Interferenzpunkte m unserer Annahme gemäß auftretende Licht eine andere Farbe besitzen, als das zum Versuch angewendete, bevor es die Beugung erleidet. Nun zeigt aber die Erfahrung bei dem Beugungsphänomene nie eine solche Farbenänderung, es ist folglich auch die obige Annahme, m erscheine hell, nicht zulässig, sondern es kann nur der allein noch mögliche zweite Fall stattfinden, nämlich, daß sämmtliche gleichzeitig auf das Aethertheilchen m übertragene Bewegungen sich immer gänzlich vernichten, also der Punkt m stets dunkel erscheint. Da sich durch ähnliche Schlußweisen das Vorhandensein von Dunkelheit auch in den Punkten m_1, m_2, m_3, m_4 . . . als nothwendig darthun läßt, wenn für m_1, $a_1m_1 - am_1 = \frac{2}{5}\lambda$, für m_2, $a_1m_2 - am_2 = \frac{3}{5}\lambda$ u. s. f. für die übrigen Punkte die Differenz ihrer Abstände von a_1 und a der Reihe nach $\frac{4}{5}\lambda$, $\frac{6}{5}\lambda$, $\frac{7}{5}\lambda$, $\frac{8}{5}\lambda$ . . . ist, wogegen an Stellen auf der Wand oder im Gesichtsfelde des Fernrohrs, für welche diese Differenz $\frac{5}{5}\lambda = \lambda$, oder $\frac{10}{5}\lambda = 2\lambda$, oder $\frac{15}{5}\lambda = 3\lambda$ u. s. w. beträgt, die größte Helligkeit herrscht, weil in jeder derselben von ähnlich gelegenen Punkten sämmtlicher Spalten her in einerlei Augenblick gleiche Schwingungsphasen zusammentreffen; so sieht man ein, daß die auf S. 759 unter (IV) aufgestellte Formel $\sin. \varphi = \frac{q\lambda}{rb}$ das wirklich leiste, was dort angegeben wurde, nämlich daß sie die Lage jener dunkeln Stellen gibt, welche durch gegenseitige Einwirkung und Vernichtung der von den verschiedenen Spalten her zusammentreffenden Strahlen entstehen.

Ist das von der Lichtquelle kommende, im Gitter die Beugung erfahrende Licht nicht homogen, sondern aus verschiedenen Farben zusammengesetzt; so erzeugt jede einzelne Farbe ihr eigenes Beugungsbild. Alle diese Bilder sind einander ähnlich, concentrisch und ähnlich liegend. Die rothen Bilder sind die größten, weil sie den größten

Wellenlängen angehören, die violeten die kleinsten und die der übrigen Farben sind zwischen diesen beiden eingereiht. Ist nur rothes und violetes Licht vorhanden, so erscheinen auch nur rothe und violete Farbenbilder, welche von einander durch dunkle Zwischenräume getrennt sind. Die rothen Farbenbilder befinden sich z. B. in $r_1, r_2, r_3 \ldots$ (Fig. 682) und die violeten $v_1, v_2, v_3 \ldots$ nahe halb so weit von der Mitte a entfernt, als die ersteren, weil in der Gleichung $\sin. \varphi = \frac{n\lambda}{b}$, durch welche, gemäß (†) auf S. 759, die hellen Stellen bestimmt werden, die Wellenlänge λ für die letzteren Bilder einen ungefähr halb so großen Werth hat, wie für die ersteren. Ist aber Licht von allen Farben vorhanden, d. h. werden von der Lichtquelle Wellensysteme aller von der Wellenlänge des violeten bis zu jener des rothen Lichtes hin denkbaren andern Wellenlängen ausgesendet und bilden diese Wellenlängen eine stetige Reihe; so sieht man zwischen den Bildern r_1 und v_1, r_2 und v_2 u. s. w. eine ununterbrochene Folge von Bildern der andern Farben, also zu einem langen Farbenbild an einander gereihte Spektra. (Zu einem scheinbar stetigen Uebergang der Farben in einander ist, weil ein jedes einzelne Spektrum eine gewisse Breite hat, keine vollkommene Stetigkeit in der Reihe der Wellenlängen erforderlich.) Fehlt in der besagten Reihe der Wellenlängen ein Glied, d. h. in der von der Lichtquelle ausgesendeten Lichtwelle eine Farbe, so muß sich dieser Mangel durch einen dunkeln Zwischenraum in einem jeden Spektrum kundgeben. Hieher kommen die auf S. 751 besprochenen schwarzen Linien im Beugungsphänomene, und es sind offenbar die Fraunhofer'schen Linien überhaupt nichts anderes als Lücken im Sonnenspektrum, die zu Folge Abgang von Wellensystemen bestimmter Wellenlängen entstehen (S. 649). Daß in dem eben Angeführten das Allgemeine der Erklärung des durch ein Gitter im weißen Lichte sich darstellenden Beugungsphänomens enthalten sei, bedarf nun wohl nicht mehr der Erwähnung.

Fig. 682.

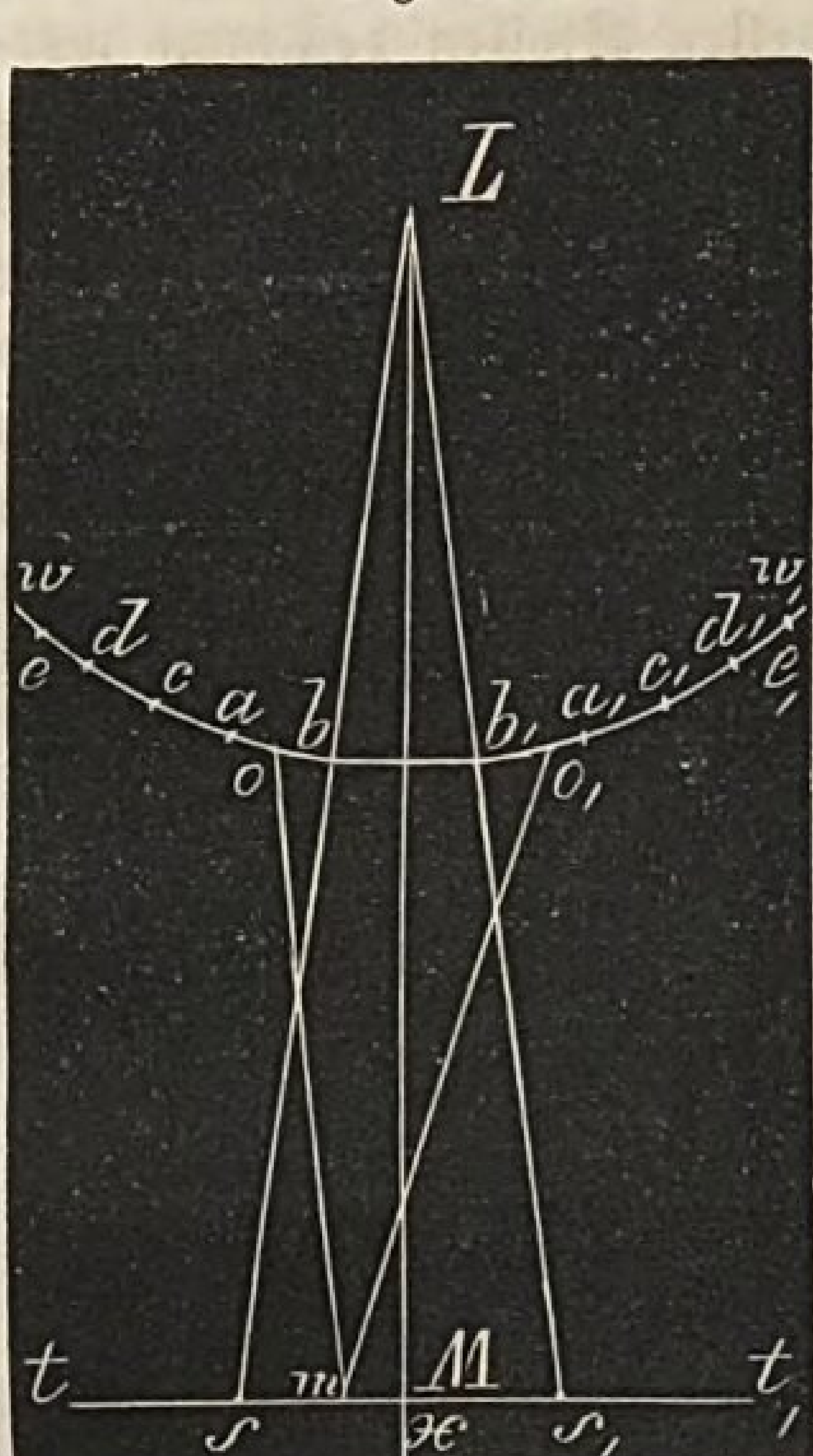


Die bei Anwendung eines feinen Gitters im Beugungsbilde vorhandenen Fraunhofer'schen Linien gestatten eine ganz genaue Bestimmung der Lichtwellen-Längen. Mißt man nämlich den Winkelabstand φ einer bestimmten solchen Linie, was sich bei der scharfen Begränzung dieser Linien und der großen Ausdehnung der sich enthaltenden Spektra mit aller Genauigkeit bewerkstelligen läßt, ferner die Entfernung b der Mittellinien zweier einander nächsten Oeffnungen oder Spalten des betreffenden Gitters, substituirt die gefundenen Werthe in die Formel $\sin. \varphi = \frac{n\lambda}{b}$; so erhält man aus dieser die Wellenlänge λ für die Farbe, welcher die ins Auge gefaßte bestimmte Fraunhofer'sche Linie entspricht, d. h. welche die ihr nächsten Strahlen besitzen, da der Werth von n sich immer nach der Stelle ergibt, welche das die besagte Linie enthaltende Spektrum der Zahl nach in der Reihenfolge der Spektra einnimmt. Auf diesem Wege fand Fraunhofer für die Strahlen nächst den von ihm mit **B, C, D, E, F, G, H** bezeichneten Stellen des prismatischen Farbenbildes folgende, Zehnmilliontel eines Millimeters bedeutende Werthe der Wellenlängen: 6879, 6559, 5888, 5265, 4856, 4296, 3963. Da ein leuchtender Punkt in einer Sekunde nothwendig so viele Schwingungen macht, als Wellenlängen auf die Weg-Strecke gehen, durch welche sich das Licht in einer Sekunde fortpflanzt, diese Strecke aber nahe 300 Millionen Meter beträgt, so macht ein Lichtpunkt, der uns das äußerste Roth des prismatischen Farbenbildes zusendet, in einer Sekunde die ungeheure Zahl von nahe 430 Billionen Schwingungen, und dem äußersten

Violet des besagten Farbenbildes gehören fast doppelt so viele Schwingungen in derselben Zeit an. Schwingungen, welche langsamer als die ersteren und schneller als die letzteren aufeinander folgen, sind nicht fähig, auf den Sehnerv, die Empfindung von Licht oder Farbe erregend, einzuwirken, und geben sich nur durch chemische oder durch Wärme-Wirkungen kund.

3. Erklärung der Beugung des Lichtes durch einen undurchsichtigen schmalen Körper. Es sei in Fig. 683 **L** die, homogenes Licht aussendende Lichtlinie, bb_1 die Breite des schmalen Körpers (z. B. der Durchmesser eines dünnen Drahtes), ss_1 der geometrische Schatten desselben auf einer weißen Wand oder mattgeschliffenen Glastafel tt_1; ww_1 sei ein Stück des Durchschnittes der Oberfläche einer von **L** her an den schmalen Körper treffenden Lichtwelle und **Lx** eine von **L** durch die Mitte des Schattens gehende Linie. Ist nun m ein Punkt im Schatten auf der in beträchtlicher Distanz von bb_1 zu denkenden Wand, und theilt man die Stücke bw und b_1w_1 der Welle in ba, ac, cd, de, ef ... und b_1a_1, a_1c_1, c_1d_1, d_1e_1, e_1f_1 ... ein, so daß der Unterschied der Abstände je zweier einander nächsten Theilungspunkte von dem Punkte m die Hälfte der Wellenlänge des an bb_1 anlangenden Lichtes beträgt, also

Fig. 683.



$am - bm = \frac{\lambda}{2}$, $cm - am = \frac{\lambda}{2}$ u. s. w.; eben so

$a_1m - b_1m = \frac{\lambda}{2}$, $c_1m - a_1m = \frac{\lambda}{2}$ u. s. w. ist;

so werden auf m von den in den Bogenstücken ba, cd, ef ... ähnlich liegenden Punkten in einem und demselben Augenblicke übereinstimmende Schwingungsphasen übertragen, und das Nämliche geschieht von den in den Bogenstücken b_1a_1, c_1d_1, e_1f_1 ... ähnlich liegenden Punkten her; die Phasen aber, welche gleichzeitig in m von Punkten her eintreffen, die in den Wellenstücken ac, de, fg ... und eben so in den Wellenstücken a_1c_1, d_1e_1, f_1g_1 ... ähnlich liegen, sind den vorigen Phasen entgegengesetzt. Wird nun der Punkt m durch die gleichzeitige Wirkung sämmtlicher Punkte des Wellenstückes ba in eine bestimmte Schwingungsphase versetzt, so empfängt er in dem nämlichen Augenblicke von den Punkten des Stückes ac her eine entgegengesetzte Phase, die aber weniger intensiv ist, weil ba eine etwas größere Ausdehnung hat und auch näher an m liegt als ac. Beide Phasen können sich daher, trotz ihres Gegensatzes, nicht vollkommen aufheben, sondern es wird aus dem gleichzeitigen Zusammenwirken der Wellenstücke ba und ac eine gewisse Schwingungsintensität in m, somit Helligkeit daselbst resultiren, und ein ähnliches Resultat werden die Bögen b_1a_1 und a_1c_1, überhaupt je zwei andere nach einander folgende Wellenstücke z. B. ac und cd, a_1c_1 und c_1d_1 u. s. w. hervorbringen. Die Resultirende aller so von dem Bogen bw auf m übertragenen partiellen Bewegungen wird in der Richtung mit der vom Bogenstücke ba (weil dieses alle andern der Stücke von bw an Größe übertrifft) übertragenen partiellen Bewegung übereinstimmen. Eine gleiche Uebereinstimmung bezüglich der Richtung wird aus dem nämlichen Grunde zwischen der Resultirenden sämmtlicher von den Stücken des Bogens b_1w_1 her in m erzeugten Partiellbewegungen, und der vom Stücke b_1a_1 herkommenden partiellen Bewegung stattfinden, und beide Resultirende bestimmen den Schwingungszustand des Punktes m. Es stelle om die Resultirende

des Bogens b w und o_1 m jene von $b_1 w_1$ der Richtung nach vor. Man begreift nach dem Früheren nun von selbst, daß, wenn der Wegunterschied o_1 m — o m gleich Null ist, oder eine gerade Anzahl halber Wellenlängen beträgt, der Punkt m hell erscheinen, daß er aber dunkel sein müsse, wenn o_1 m — o m einer ungeraden Anzahl halber Wellenlängen gleich ist. Für alle Punkte in der Linie **L M** ist der Unterschied der Wege gleich Null, wenn **L M** senkrecht auf b b_1 steht; folglich erscheint selbst die Mitte des Schattens hell. Entfernt man sich von **M** in der Richtung von **M** nach **t**, so gelangt man bald an eine Stelle, für welche jener Wegunterschied eine halbe Wellenlänge beträgt, welche daher dunkel erscheinen muß, und weiter an eine andere, bei welcher dieser Unterschied zwei halben Wellenlängen gleich ist, und die sich deßhalb hell zeigt u. s. w. Dasselbe findet in der Richtung von **M** nach t_1 hin Statt. So wären der Hauptsache nach die Farbenstreifen im Innern des Schattens erklärt. Auf ähnlichem Wege finden auch die äußern Streifen ihre Erklärung.

337. Beugung bei der Reflexion des Lichtes. Radirt man auf ein polirtes Stahlplättchen oder auf ein mit Blattgold belegtes Planglas ein feines Gitter, oder zieht auf einer Seite des Glases gleichweit abstehende Linien und überstreicht die andere Seite mit schwarzem Firniß, hält hernach das so erzeugte Gitter derart gegen einfallende Sonnenstrahlen, daß diese nach der Reflexion von demselben entweder unmittelbar oder durch ein Fernrohr ins Auge kommen; so zeigt sich das nämliche Phänomen, wie beim Durchgang der Strahlen durch die Oeffnungen des Gitters: denn es finden offenbar nach der Reflexion der Strahlen die nämlichen Gangunterschiede derselben Statt, wie nach ihrem Durchgange durch die besagten Gitteröffnungen, folglich werden sich auch an den nämlichen Stellen des Gitters die nämlichen Farben zeigen müssen. Die einzelnen Farbenbilder und ihre Abstände von der Axe sind desto größer, je schiefer die Strahlen einfallen.

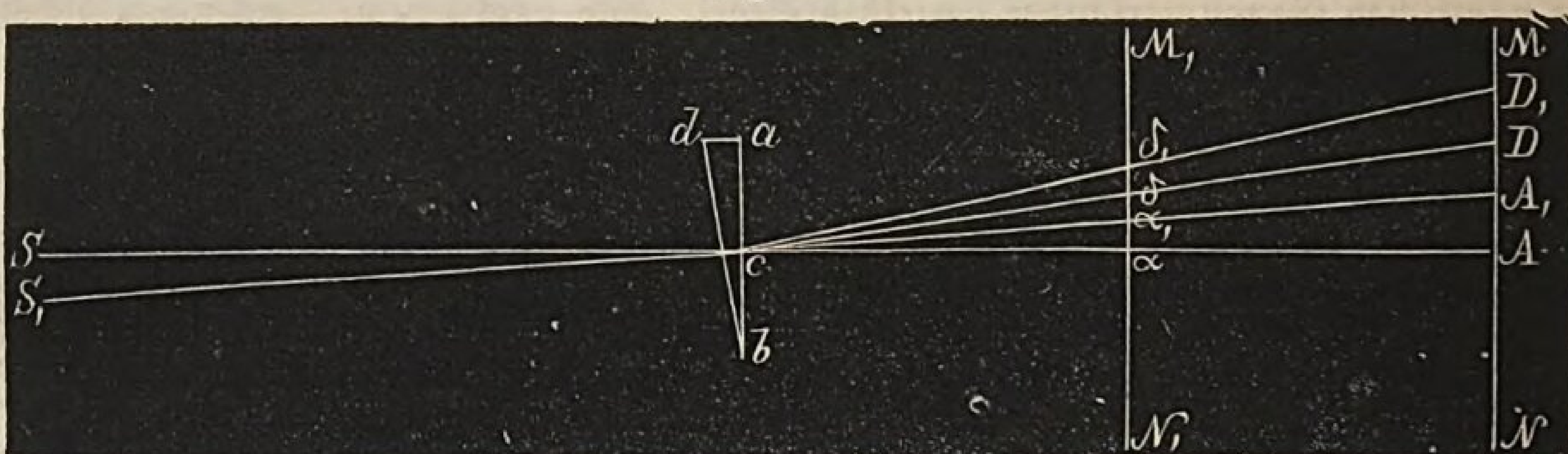
In die Klasse der Beugungsphänomene gehören auch die Farbenerscheinungen, welche sich zeigen, wenn man durch den dünnen Theil des Bartes einer Vogelfeder, oder mit blinzendem Auge, also durch die Haare der Augenwimper, durch die feinen Haare der Hüte, durch Spinnengewebe, durch eng gewebtes Zeug oder durch ein mit Herenmehl bestreutes Glas nach der Sonne oder einen andern stark beleuchteten Gegenstand hinsieht; die dunkeln Streifen, die sich zeigen, wenn man durch die feinen Zwischenräume der eng aneinander geschlossenen, gestreckten Finger nach der Sonne hinsieht; ferner das Farbenspiel, welches man im reflektirten Lichte an allen Körpern beobachtet, die auf der glatt erscheinenden Oberfläche feine Furchen haben, wie dies z. B. bei den von Barton erfundenen Irisknöpfchen und nach Brewsters Entdeckung, bei der Perlmutter der Fall ist; das Farbenspiel der Flügeldecken mancher Insekten, da diese Decken selbst gefurcht oder mit gefurchten Schuppen überzogen sind; das Schillern abgestandener Gläser, vieler Färbestoffe, z. B. des trockenen Waides; die Lichtstreifen an dem Bilde einer Kerzenflamme in manchen Planspiegeln u. s. w. Endlich gehören zu den Beugungsphänomenen auch noch die kleineren der sogenannten Höfe, d. s. Ringe, die man, wenn der Himmel mit einem dünnen Wolkenschleier überzogen ist, um die Sonne, den Mond oder auch um die größeren Sterne herum beobachtet, und welche heller sind als der übrige Theil des Firmamentes, oft auch Regenbogenfarben enthalten; sie werden nämlich nach Fraunhofer durch Beugung der Lichtstrahlen an den Rändern der in der Atmosphäre schwebenden Dunstbläschen hervorgebracht. Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht der Umstand, daß Sonne, Mond und Sterne mit einem Hofe erscheinen, wenn man sie durch ein stark angehauchtes Glas oder ein stark mit Dünsten beschlagenes Fenster betrachtet, während man ohne das bethaute Glas oder im Freien nichts Hofähnliches wahrnimmt.

338. Wichtigkeit der in der Pupille des Auges und in den Objectivöffnungen optischer Instrumente stattfindenden Beugung. Die nähere Betrachtung der bei dem Durchgange des Lichtes durch eine kreisrunde Oeffnung sich darbietenden Beugungserscheinungen (man sehe die S. 751) und der sie bedingenden Umstände führte Herrn Professor J. Petzval zu äußerst interessanten und wichtigen Bemerkungen über die Natur des Auges und der optischen Instrumente, welche, so einfach und naheliegend sie erscheinen, unseres Wissens dennoch bis zum heutigen Tage noch nirgends ausgesprochen worden sind.

Die erwähnten Beugungserscheinungen werden nämlich immer eintreten müssen, so oft Licht, das von einem Punkte ausgeht, durch einen mit einer kreisrunden Oeffnung versehenen Schirm aufgefangen wird. Solche kreisrunde Oeffnungen sind nun aber offenbar auch die Pupille des Auges und die Objectivöffnung eines Fernrohrs, Mikroskopes u. s. w., und es wird sonach auf der Netzhaut des ersteren oder in der Bildweite des Objectives eine Beugungserscheinung zu Stande kommen, die, wenn sie in Folge gewisser Umstände genügend stark hervortritt, die Deutlichkeit des erzeugten Bildes merklich zu beeinträchtigen vermag, so zwar, daß in diesen Beugungserscheinungen einerseits der Grund der schon früher (S. 704) erwähnten Thatsache zu suchen ist, daß das Auge Details eines Gegenstandes, die unter einem allzu kleinen Gesichtswinkel (gewöhnlich unter einem Winkel, der kleiner als ½ Minute ist) erscheinen, nicht mehr deutlich zu unterscheiden vermag, andererseits aber eine Grenze der Leistungsfähigkeit optischer Instrumente gegeben ist, die sich bei Anwendung aller möglichen Hilfsmittel, z. B. stärkerer Vergrößerung u. s. w., nicht überschreiten läßt.

Um dies einzusehen, wollen wir noch bezüglich der Beugungserscheinungen durch ein rundes Loch angeben, wie sich, bei Anwendung homogenen Lichtes, der Durchmesser des kreisrunden Fleckes in der Mitte der Beugungserscheinungen auf dem Schirme, oder was dasselbe ist, der Durchmesser des ersten dunklen Ringes annäherungsweise bestimmen lasse. Ist nämlich in Fig. 684 **S** der (sehr

Fig. 684.



weit entfernt gedachte) leuchtende Punkt, **c** der Mittelpunkt der kreisförmigen Oeffnung **ab**, **MN** der zur Oeffnung parallel gestellte Schirm; ist ferner einfachheitshalber **Sc** senkrecht auf **ab**; so bezeichnet offenbar der Durchschnittspunkt **A** der verlängerten **Sc** mit dem Schirme den Mittelpunkt der daselbst auftretenden Beugungserscheinung. Trägt man nun die halbe Wellenlänge des angewendeten homogenen Lichtes $ad = \frac{1}{2}\lambda$ senkrecht auf **ab** auf, so erhält man, d mit b verbindend, den Winkel $abd = \frac{1}{2}\varepsilon$, und macht man nun noch $\sphericalangle AcD = \sphericalangle abd = \frac{1}{2}\varepsilon$, so ist, wie die höhere Rechnung lehrt, **AD** sehr nahe der gesuchte Halbmesser des besagten kreisrunden lichten Fleckes in der Mitte des Phänomens. Befindet sich aber unmittelbar hinter der lichtbeugenden Oeffnung **ab** eine Converlinse, etwa das Objectiv eines Fernrohrs, so kömmt eine ähnliche Beugungserscheinung in der Brennweite $c\alpha$ dieser Linse zu Stande, und man hat ganz eben so $\alpha\delta$ als Halbmesser jenes kreisrunden Fleckes oder des ersten dunkeln Ringes. Bei der ungemeinen Kleinheit der Lichtwellenlänge $2ad = \lambda$ in Vergleich mit einer nur einigermaßen beträchtlichen Größe der Oeffnung **ab** ist nun der Winkel $\frac{1}{2}\varepsilon$ sehr klein und sonach sehr nahe $\frac{1}{2}\lambda = ab.\ \mathrm{tang.}\ \frac{1}{2}\varepsilon = \frac{1}{2}ab.\ \varepsilon$, also $\varepsilon = \frac{\lambda}{ab}$. Es folgt aus dem Gesagten, daß selbst für ganz vollkommen achromatische und aplanatische Linsensysteme die von einem Punkte **S** ausgehenden parallelen Lichtstrahlen nicht genau in einem einzigen Punkte α, sondern in einer kleinen Kreisfläche von dem Halbmesser $\alpha\delta$ zusammentreffen, den man allenfalls den Abweichungskreis

wegen der Beugung nennen könnte. Denken wir uns nun, in Anwendung auf das Auge, ab als den Durchmesser der Pupille, $M_1 N_1$ als die Netzhaut, auf welche die Beugungserscheinung in der Entfernung $c\alpha =$ der Brennweite des Auges fällt, so läßt sich sehr leicht zeigen, daß $\varepsilon = \frac{\lambda}{ab}$ der kleinste Gesichtswinkel sei, bei welchem das Auge noch Details eines Gegenstandes zu unterscheiden vermag. Denn es erscheint offenbar auf der Netzhaut $M_1 N_1$ nicht der Punkt α als das Bild des Punktes S, sondern der besagte Abweichungskreis mit dem Halbmesser $\alpha\delta$. Wäre nun S_1 ein anderer leuchtender Punkt und macht man für ihn eine ähnliche Construction wie für den Punkt S, so erhält man eben so α_1 als Mittelpunkt, $\alpha_1 \delta_1$ als Halbmesser des ihm angehörigen Abweichungskreises. Wird nun, wie hier in der Zeichnung, der Winkel $S c S_1 < \frac{1}{2} \varepsilon$ angenommen, so fallen diese beiden Kreise, d. h. die Bilder der beiden Punkte S und S_1, theilweise übereinander, woraus unmittelbar folgt, daß auch die durch dieselben auf der Netzhaut hervorgebrachten Eindrücke sich mehr oder weniger verwischen werden. Nimmt man also beispielsweise für das menschliche Auge die Pupillenöffnung bei mäßigem Lichte $ab = 4$ m. m. und $\lambda = 0{\cdot}0005888$ m. m. (dem Orte D im orangegelben Theile des Spektrums entsprechend) an, so ist $\varepsilon = \frac{\lambda}{ab} = 0{\cdot}0005888 : 4 = 30{\cdot}27''$. Bedeutet auf dieselbe Weise ab, in Millimetern ausgedrückt, die Objectivöffnung eines Fernrohres, und berechnet man ganz eben so den Winkel $\varepsilon = \frac{\lambda}{ab}$ in Sekunden; ist ferner v die Vergrößerungszahl des Instrumentes; so ist offenbar $v\varepsilon = \frac{v\lambda}{ab}$ der Winkel, unter welchem der besagte Abweichungskreis einem durch das Fernrohr hindurchsehenden Auge erscheint. Ist nun $v\varepsilon = 30''$, so fängt der genannte Abweichungskreis an, für das Auge merkbar zu werden, und es ist sonach $v = \frac{30}{\varepsilon} = \frac{30 . ab}{\lambda}$ diejenige Vergrößerungszahl, über welche hinaus ein nachtheiliger Einfluß der Beugungserscheinung auf die Deutlichkeit des Bildes merkbar wird, der endlich so bedeutend zunimmt, daß er den Vortheil einer weitern Vermehrung der Vergrößerung vollständig paralysirt.*)

Es soll nur noch hinzugefügt werden, daß diese einfachen Bemerkungen die Beantwortung der sehr interessanten Frage einschließen, weßhalb die Vorsehung im Facettenauge des Insektes das dioptrische Prinzip der Einrichtung des menschlichen Auges aufgegeben habe? Weil nämlich für sehr kleine Pupillenöffnungen, wegen des immer bedeutender hervortretenden Einflusses des Beugungsspektrums, ein deutliches Sehen unmöglich wäre. Ich verdanke die vorstehenden, eben so interessanten als wichtigen Notizen meinem Assistenten, Herrn J. Derffel, der sie den bisher noch ungedruckten Vorträgen Prof. Petzval's entnommen hat.

339. Farben dünner Plättchen. Alle durchsichtigen Körper, auch wenn sie in dickeren Schichten ganz farblos sind, zeigen, sobald sie hinreichend dünne Schichten bilden, sowohl im reflektirten als im durchgelassenen Lichte sehr lebhafte schöne Farben, welche das Eigenthümliche haben, daß sie mit der Dicke der betreffenden dünnen Schichte und mit der Richtung des einfallenden Lichtes sich

---

*) Man erkennt aus der ganzen Darstellung ohne Schwierigkeit, daß diese Sorte von Abweichung auf keine Weise gehoben werden kann, daß man aber zu Folge der Formel $v = \frac{30 . ab}{\lambda}$ in der Vergrößerung desto weiter gehen kann, je größer die Oeffnung ab des Objektivs ist. Freilich ist auch der Vergrößerung dieser Oeffnung durch die Schwierigkeiten der praktischen Ausführung eine sehr enge Grenze gesetzt.

ändern. Man findet diese Farben an Seifenblasen, an Ballonen aus Collodium, an Schaumbläschen, an einer vor der Glasbläserlampe bis fast zum Zerplatzen aufgeblasenen Glaskugel; an sehr dünnen Flüssigkeitsschichten auf glatten, dunkeln Körpern; an einer auf Wasser schwimmenden, sehr dünnen Oelschichte (wie sie z. B. erhalten wird, wenn man auf Wasser einen kleinen Tropfen Terpentinöl bringt, indem dieser über der Wasseroberfläche zu einer dünnen Schichte sich ausbreitet); und ähnlicher Art sind die Farben, die der Stahl nach dem Anlassen (S. 44), wobei er sich mit einer dünnen Oxydschichte überzieht, zeigt, oder die oft an Sprüngen dickerer Glasmassen beobachtet werden und von im Sprunge enthaltenen dünnen Luftschichten herkommen u. s. w.

Am regelmäßigsten erhält man die in Rede stehenden Farben, nämlich in Gestalt von Ringen, mittelst des sogenanten Newton'schen Farbenglases, welches (gewöhnlich) aus einer runden, ebenen Glasplatte besteht, die auf einer Converlinse von geringer Krümmung (von 10—12 Fuß Brennweite) liegt. Beide Gläser (die übrigens auch die umgekehrte Anordnung haben können) sind in einer gemeinschaftlichen Fassung so eingeschlossen, daß sie sich mittelst Schrauben mehr oder weniger an einander drücken lassen. Die Gläser berühren sich offenbar nur an einer einzigen Stelle, rings um diese ist ihr Abstand in gleichen Entfernungen gleich groß und nimmt gegen die Ränder hin nach einem bestimmten Gesetze allmälig zu. Hält man das Farbenglas so, daß von demselben reflektirtes Sonnenlicht ins Auge gelangt, so sieht man an der Berührungsstelle beider Gläser einen dunkeln Fleck, und um ihn herum concentrische Farbenringe, die von dem kleinsten zum größten hin immer schmäler und matter sind. Die Farbenfolge ist eine ähnliche, wie bei der Beugung des weißen Lichtes durch eine Spalte. Wird das Farbenglas so gehalten, daß nur durchgelassenes Licht ins Auge gelangt, so zeigt sich an der Berührungsstelle ein heller Fleck und um demselben herum wieder ein System concentrischer Farbenringe; diese sind aber weit weniger lebhaft als jene im reflektirten Lichte und ihre Farben sind complementär zu denjenigen, die sich an den nämlichen Stellen im reflektirten Lichte zeigen. Die Ordnung, in welcher in beiden Fällen die Farben aufeinander folgen, ändert sich nicht, wenn in den Zwischenraum der beiden Gläser anstatt Luft eine andere ausdehnsame oder eine tropfbare Flüssigkeit gebracht, oder wenn die Luft darin verdünnt, oder dieser Raum ganz luftleer gemacht wird. Es nimmt dies nur Einfluß auf die Lebhaftigkeit der Farben und auf die Durchmesser der Ringe. Fällt auf das Farbenglas nur homogenes Licht, oder betrachtet man ersteres durch ein Glas von möglichst gleichartiger Farbe, so sieht man nur helle Ringe von der Farbe des auffallenden Lichtes oder des Glases, die mit dunkeln Ringen abwechseln, und an den Stellen, wo im reflektirten Lichte helle Ringe erscheinen, zeigen sich im durchgelassenen dunkle und umgekehrt. Bei jedem hellen Ringe ist die Intensität der Helligkeit und bei jedem dunkeln Ringe jene der Dunkelheit in der Mitte seiner Breite am größten und nimmt von da nach beiden Seiten hin allmälig ab.

Sehr schön zeigen sich die Newton'schen Ringe (nach Reade) auf einer höchst polirten Platte schwarzen Glases, nachdem man die Oberfläche mit einer Lösung feiner Seife bestrichen, hierauf mit einem Stücke Gemsleder trocken gerieben und endlich durch ein Glasrohr angehaucht hat.

Aus genauen, schon von Newton vorgenommenen Messungen ergaben sich für die Erscheinung in homogenem Lichte folgende Gesetze: 1). Im reflectirten Lichte verhalten sich die Quadrate der Halbmesser der von der Mitte aus aufeinander folgenden farbigen Ringe wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7... und die Quadrate der Halbmesser der dunkeln Ringe wie die geraden Zahlen 2, 4, 6, 8... (Unter dem Halbmesser eines Ringes wird hier der Halbmesser seines mittleren Kreises, wo die eben vorher besagte größte Intensität herrscht, verstanden). 2). Im durchgelassenen Lichte findet für die Halbmesser der dunkeln Ringe das Verhältniß Statt,

welches im reflectirten Lichte für die Halbmesser der hellen Ringe gilt und umgekehrt. 3). Unter sonst gleichen Umständen haben in verschiedenfarbigem Lichte die Halbmesser der Ringe derselben Ordnung ungleiche Größe und diese nimmt vom rothen Lichte zum violeten hin allmälig ab, so daß jeder bestimmte Ring, z. B. der 3te im rothen Lichte den größten, und im violeten den kleinsten Halbmesser hat. 4). Die Größe der Ringe hängt aber auch von der Schiefe der einfallenden Strahlen ab und nimmt mit dieser zu. 5). Auch die Breite jedes Ringes von derselben Ordnung hängt vom Grade der Brechbarkeit des Lichtes ab, und ist im rothen Lichte am größten, im violeten am kleinsten und nimmt von ersterem gegen letzteres hin allmälig ab.

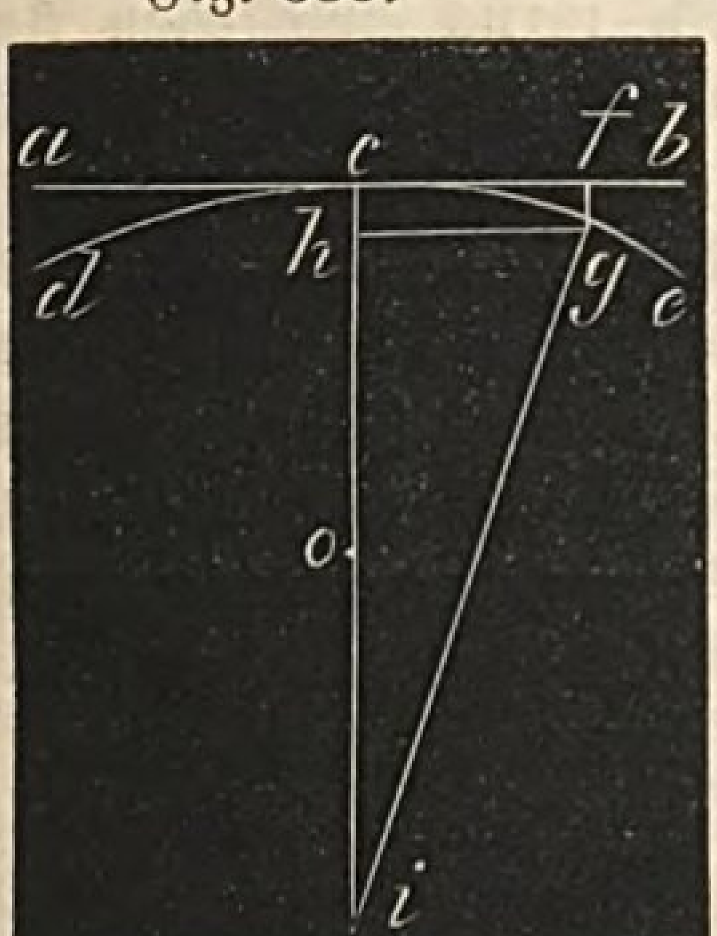
Aus den genau gemessenen Größen der Halbmesser der verschiedenen Ringe und aus dem bekannten Krümmungshalbmesser der Linse konnte Newton für jeden Ring die Dicke berechnen, welche die Luftschichte zwischen den Gläsern an den Stellen hat, wo die verschiedenen farbigen und dunkeln Ringe hinfallen *). Auf diesem Wege ergab sich, daß für ein und dasselbe gleichartige Licht die besagten Dicken den Quadraten der Halbmesser der diesen Dicken entsprechenden Ringe direct proportional sind. Diesem und dem obigen Gesetze unter 1). gemäß verhalten sich also im reflectirten Lichte die Dicken an den Stellen der farbigen Ringe wie die ungeraden und an den Stellen der dunkeln Ringe wie die geraden Zahlen ... (†), so daß, wenn die Dicke der Luftschichte an der Stelle des ersten farbigen Ringes mit d bezeichnet wird, diese Dicke an der Stelle des zweiten, dritten, vierten u. s. w. farbigen Ringes (an der Stelle nämlich, wo der intensivste Kreis jedes dieser Ringe hinfällt) 3d, 5d, 7d ... ist, während sie an der Stelle, wo der dunkelste Kreis des ersten, zweiten, dritten ... dunkeln Ringes sich zeigt, 2d, 4d, 6d ... beträgt **).

Aus dem Bisherigen läßt sich nun leicht einsehen, daß das an dem Farbenglase im weißen Lichte sich zeigende System verschiedenfarbiger Ringe das Resultat der theilweisen Ueber- und Nebeneinanderlagerung der den verschieden brechbaren

---

*) Ist acb (Fig. 685) das Planglas, dce die im Punkte c damit in Berührung stehende convexe Fläche der Linse, cf = r der Halbmesser eines Ringes und fg = D die demselben bei senkrechter Incidenz der Strahlen entsprechende Dicke der Luftschichte unter demselben, co = ϱ der Krümmungshalbmesser der besagten Linsenfläche, ic = 2ϱ und gh parallel zu cf; so hat man wegen Aehnlichkeit der Dreiecke cgh und ghi, in welche das rechtwinklige Dreieck cgi durch das aus dem Scheitel des rechten Winkels auf ci gefällte Perpendikel zerlegt wird, ch : hg = hg : hi oder D : r = r : 2ϱ — D, hieraus $r^2 = D(2\varrho - D) = 2\varrho D - D^2$, und weil wegen Kleinheit von D im Verhältniß zu 2ϱ, D^2 vernachlässigt werden kann, $r^2 = 2\varrho D$ ... 1).

Fig. 685.

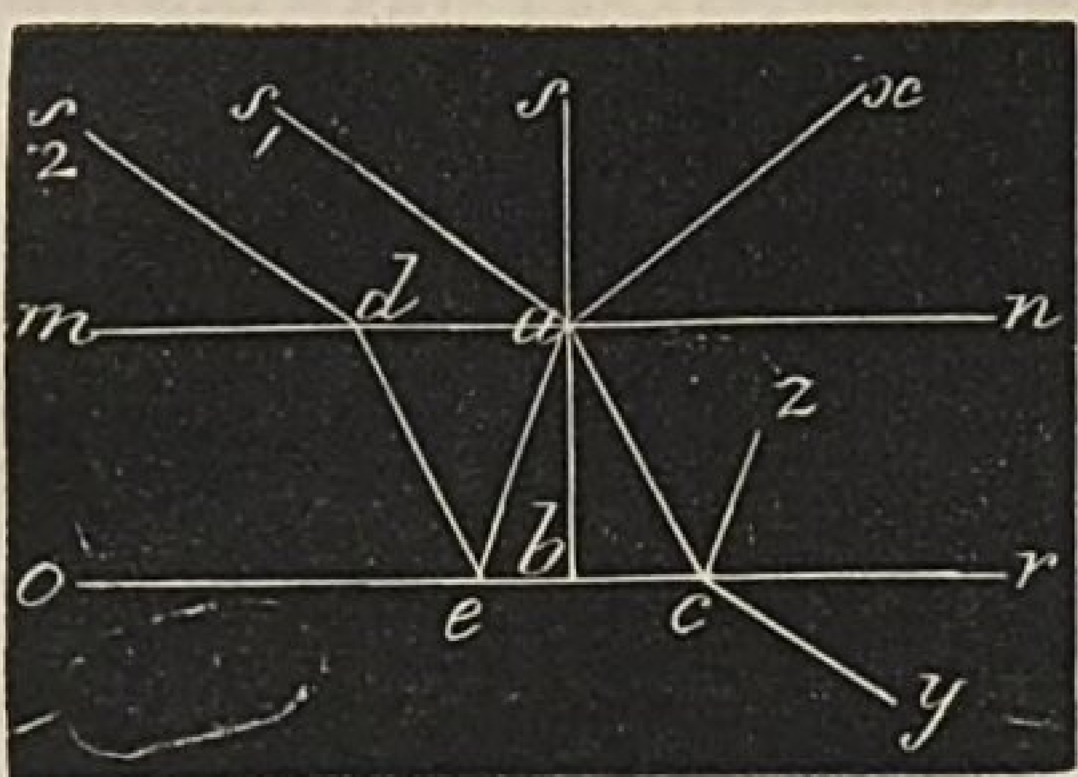


**) Mittelst der Gleichung 1) in der vorstehenden Anmerkung erhält man auch den absoluten Werth von d (welcher seiner außerordentlichen Kleinheit wegen sich nicht durch unmittelbare Messung finden läßt); denn hat man durch diese Formel die irgend einem Ringe entsprechende Dicke D gefunden, so läßt sich nach obigen Satz (†) der Werth von d leicht berechnen. Wurde z. B. D für den 4ten hellen Ring gemessen, so ist wegen D = 7d, $d = \frac{D}{7}$. Da die Ringe nicht auf der Oberfläche des Glases, sondern auf jener der Flüssigkeitsschichte zwischen den Gläsern entstehen, so erhält man durch unmittelbare Messung den Durchmesser eines Ringes nicht in seiner wahren Größe, sondern, so wie er zu Folge der Lichtbrechung im Glase dem Beobachter erscheint, und es muß daher das Ergebniß der Messung immer erst bezüglich dieser Brechung corrigirt werden, was nach den Gesetzen der letzteren durch eine einfache Rechnung geschehen kann.

Bestandtheilen dieses Lichtes entsprechenden Ringsysteme sei. Es entsteht nämlich von jedem solchen Bestandtheile (von jeder Gattung farbigen Lichtes) ein System heller mit dunkeln abwechselnder Ringe, so als ob er allein auf das Farbenglas auffiele; Ringe des einen Systems fallen mit Ringen der andern Systeme zusammen und rufen dann durch ihren gemeinschaftlichen Eindruck auf das Auge die Empfindung jener von den prismatischen Farben verschiedenen Mittelfarben hervor, welche das Farbenglas im weißen Lichte zeigt. Die Richtigkeit dessen ergibt sich daraus, daß, wenn man nach den oben aufgestellten Gesetzen ermittelt, was für farbige Ringe in einem bestimmten Abstande vom Berührungspunkte der beiden Gläser des Farbenglases zusammentreffen müssen, und ferner untersucht, was durch Mischung der Farben dieser zusammenfallenden Ringe für eine Mittelfarbe entstehen muß, so findet man ganz die nämliche, welche in dem besagten Abstande wirklich beobachtet wird.

Die Vibrationshypothese, aber auch nur sie allein, erklärt die Farbenerscheinungen an dünnen Körpern naturgemäß und vollständig, und zwar aus der Interferenz der von beiden Grenzflächen der dünnen Schichte dem Auge zugesendeten Lichtstrahlen. Folgendes wird von der Art dieser Erklärung im Allgemeinen eine richtige Vorstellung geben. Wir wollen zuerst den einfachsten Fall betrachten, jenen nämlich, wo das Auge die Lichtstrahlen von der dünnen Schichte her nach fast senkrechter Richtung empfängt. Ist m n o r (Fig. 686) ein dünnes Plättchen und s a ein auf dessen obere Fläche senkrecht einfallender homogener Strahl, so erfährt dieser bei a eine Theilung: ein Theil wird in der Richtung a s reflektirt, ein anderer gelangt bei b an die zweite Grenzfläche des Plättchens und erleidet hier abermals eine theilweise Reflexion, natürlich nach einer mit a s zusammenfallenden Richtung. Da bei senkrechtem Einfallen des Lichtes immer nur eine schwache Reflexion stattfindet, so sind die bei a und b zurückgeworfenen Antheile als gleich intensiv zu betrachten. Beide reflektirte Strahlen werden sich daher interferiren und das Resultat der Interferenz wird von der Dicke a b des Plättchens abhängen, da diese den Gangunterschied der beiden Strahlen bis zum Interferenzpunkt a hin bestimmt, welcher Unterschied der doppelten Dicke des Plättchens, d. i. 2 a b gleich ist, und es sollte, den Interferenzgesetzen gemäß, der Punkt a hell erscheinen, wenn der besagte Gangunterschied λ oder $2\,\lambda$, oder $3\,\lambda$. . . . d. i. eine ganze Wellenlänge oder irgend ein Vielfaches einer solchen beträgt . . . (1, hingegen dunkel sein, wenn dieser Unterschied gleich ist $\frac{1}{2}\,\lambda$ oder $\frac{3}{2}\,\lambda$ oder $\frac{5}{2}\,\lambda$ . . . d. i. einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge . . . (2. Allein nach Young bewirkt bei zwei Lichtstrahlen bloß der Umstand, daß der eine von einem weniger brechenden Mittel in ein mehr brechendes, der andere hingegen von einem stärker brechenden in ein schwächer brechendes Mittel zurückgeworfen wird (wie dies bei den von a und b reflektirten Strahlen der Fall ist), ein Zurückbleiben des einen hinter dem andern um eine halbe Wellenlänge, so daß zwei solche Strahlen, auch bei ganz gleicher Größe ihrer Wege bis zum Interferenzpunkt hin, daselbst wie zwei in ihren Wegen um eine halbe Wellenlänge verschiedene Strahlen auf einander einwirken . . . (3. Demnach wird das Interferenzresultat der von a und b reflektirten Strahlen nicht das oben unter (1 und (2 angegebene, sondern gerade das entgegengesetzte sein, d. h. a wird in den Fällen unter (1 dunkel und in jenen unter (2 hell erscheinen.

Fig. 686.



Das Phänomen im durchgelassenen Lichte entsteht, indem sich Strahlen, welche das Plättchen (die dünne Schichte) passiren, ohne durch dieses vorher eine Reflexion erfahren zu haben, mit Strahlen interferiren, die durch das Plättchen erst nach darin erlittener zweimaliger Zurückwerfung durchgehen. Es wird nämlich in dem Falle, wo die Strahlen, wie z. B. sa, senkrecht einfallen, der Antheil des Strahles ab, der bei b unmittelbar durchgeht, sich mit jenem Theile interferiren, der bei b austritt, nachdem er von diesem Punkte nach a und von da wieder nach b zurückgeworfen wurde. Da der Gangunterschied der beiden so zur Interferenz kommenden Strahlen 2ab ist, so werden diese sich offenbar vernichten, wenn 2ab $\frac{1}{2}\lambda$ oder $\frac{3}{2}\lambda$, überhaupt ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt, und die Stellen, welchen diese Gangdifferenzen entsprechen, müssen dunkel erscheinen, während an den Stellen, für welche 2ab gleich 0, λ, 2λ, 3λ, oder überhaupt irgend ein Vielfaches einer ganzen Wellenlänge ist, Verstärkung des Lichtes, also Helligkeit stattfinden muß. (Die zweimalige Reflexion, die der eine der sich interferirenden Strahlen an b und a erfährt, ändert, dem Young'schen Gesetz gemäß, diesen Strahl um eine ganze Wellenlänge; diese Aenderung ist aber ohne allen Einfluß auf das Interferenzresultat bezüglich der stattfindenden Verstärkung oder Vernichtung des Lichtes und bleibt daher ganz außer Betracht.) Demnach und nach (3. herrscht der Vibrationstheorie gemäß im durchgelassenen Lichte an den Stellen Dunkelheit, die im reflektirten Lichte hell erscheinen und umgekehrt, und es verhalten sich die Dicken des Plättchens an den dunkel erscheinenden Stellen wie die ungeraden, an den hell erscheinenden aber wie die geraden Zahlen, während im reflektirten Lichte das Umgekehrte stattfindet. Alles ganz so, wie es die Erfahrung zeigt. Da von den zwei zur Interferenz kommenden Strahlen der erst nach einer zweifachen Reflexion durch das Plättchen gehende viel weniger intensiv ist als der andere, der unmittelbar durchgeht, so können beide sich weder so vollständig vernichten, noch so verstärken, wie dies bei dem im reflektirten Lichte entstehenden Phänomene geschieht, und deswegen erscheinen auch sowohl die dunkeln als die hellen Stellen weniger intensiv als in dem eben erwähnten Falle.

Die Entstehung der Ringe bei schief auffallendem Lichte sieht man nach den Prinzipien der Vibrationshypothese im Allgemeinen aus Folgendem ein. Ist s_1a (Fig. 686) ein schief auffallender Strahl, so wird in a ein Theil desselben nach x reflektirt, ein anderer Theil aber wird nach c hin gebrochen und tritt hier nach y aus dem Plättchen wieder aus, nachdem ein Theil in letzteres, z. B. nach z hin zurückgeworfen worden. Aehnliches findet mit andern von der nämlichen Lichtquelle ausgehenden und auf das Plättchen parallel auffallenden Strahlen Statt. Ist s_2d einer dieser Strahlen, der so auf das Plättchen fällt, daß der in dieses eintretende Antheil, nachdem er bei e partiell zurückgeworfen wurde, in a nach der Richtung ax wieder austritt, so interferiren sich hier zwei Strahlen, wovon der eine ($s_2$deax) bis zum Interferenzpunkt hin einen um de + ea größeren Weg zurückgelegt hat als der andere ($s_1$ax). Ist de = $\frac{1}{2}$ Wellenlänge, also der Wegunterschied de + ea = einer ganzen Wellenlänge, so vernichten sich die interferirenden Strahlen und der Punkt a erscheint dunkel; dasselbe wird bei Punkten der Fall sein, für welche der besagte Wegunterschied irgend ein Vielfaches einer ganzen Wellenlänge (λ) beträgt . . . (4. Ist dieser Wegunterschied hingegen $\frac{1}{2}\lambda$ oder einem ungeraden Vielfachen von $\frac{1}{2}\lambda$ gleich, so ist das Interferenzresultat eine gegenseitige Verstärkung der beiden Strahlen und der betreffende Punkt erscheint hell . . . (5. Nach dem oben unter (3 erwähnten von Young aufgestellten Satze, (daß zwei Lichtwellen, wovon die eine aus einem stärker brechenden Mittel in ein schwächer brechendes, die andere aber in umgekehrter Art reflektirt wurde, dann schon bloß deswegen um den einer halben Wellenlänge ent-

sprechenden Schwingungszustand verschieden sind) befinden sich nämlich die beiden Strahlen an der Interferenzstelle im Falle (4 in entgegengesetzten, im Falle (5 aber in übereinstimmenden Schwingungsphasen, während, wenn der besagte Young'sche Satz nicht Statt fände, gerade das Umgekehrte Statt finden müßte. Wendet man dies auf die Erklärung des Phänomens an dem Farbenglase oder an einer andern dünnen Schichte von gleichförmig zunehmender Dicke an, so muß offenbar an der Stelle, wo, wie am Berührungspunkte der Gläser und zunächst um denselben herum, der Wegunterschied der Strahlen, also auch die Dicke der Schichte im Vergleich mit der Länge einer Lichtwelle verschwindend oder mindestens sehr klein ist, Dunkelheit herrschen, und die zweite, dritte, vierte u. s. w. dunkle Stelle, also beim Farbenglas der dunkelste Kreis des ersten, zweiten, dritten u. s. w. dunkeln Ringes sich da zeigen, wo der Wegunterschied der zur Interferenz kommenden Strahlen 1, 2, 3, 4 u. s. w. ganze Wellenlängen ....(6, mithin die stets (dem halben Wegunterschiede gleiche) Dicke der Schichte 1, 2, 3, 4 u. s. w. halbe Wellenlängen beträgt, weil dem Young'schen Satze gemäß an diesen Stellen die besagten Strahlen gerade so in entgegengesetzten Schwingungsphasen zusammentreffen, als wenn die Wegunterschiede daselbst, der Reihe nach $1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$, $2 - \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$, $3 - \frac{1}{2} = \frac{5}{2}$, $4 - \frac{1}{2} = \frac{7}{2}$ u. s. w. Wellenlängen betrügen, d. h. Werthe hätten, deren jeder von den unter (6 angeführten um eine halbe Wellenlänge, (um welche der von der Fläche des zweiten Glases reflektirte Strahl gegen den andern gleichsam zurückbleibt) verschieden ist. Da wo die Dicke der dünnen Schichte $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{7}{4}$ u. s. w. einer Wellenlänge beträgt, also die betreffenden Wegunterschiede $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{7}{2}$ u. s. w. Wellenlängen und zu Folge des Young'schen Satzes bezüglich der zugehörigen Schwingungsphasen gleichbedeutend mit den Wegunterschieden von 0, 1, 2, 3 u. s. w. Wellenlängen sind, müssen sich natürlich die intensivsten Kreise der hellen Ringe finden.

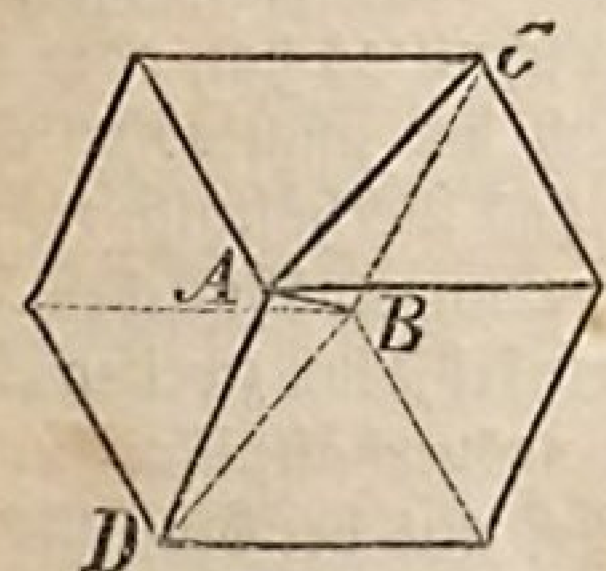
Die Farben im durchgelassenen Lichte, wenn dieses schief einfällt, entstehen ganz in ähnlicher Weise, wie bei senkrechtem Einfallen, indem immer ein, die dünne Schichte direkt passirender Strahl z. B. $s_1 a c y$ (Fig. 686) sich mit einem Strahle $s_2 d e a c y$ interferirt, der im Innern der Schichte eine zweimalige Reflexion (bei e und bei a) erfahren hat und daher von dem vorigen Strahle nicht bloß um den Wegunterschied, sondern nach Young's Prinzip überdies um eine ganze Wellenlänge verschieden ist. Da der letztere Unterschied in Rücksicht auf Verstärkung oder Schwächung des Lichtes bei der Interferenz ganz ohne Einfluß ist, so muß offenbar in der Mitte des Farbenglases, wo der Wegunterschied der Strahlen als Null betrachtet werden kann, Helligkeit herrschen. Die dunkeln Ringe werden der Reihe nach an den Stellen sein, wo die Dicke der dünnen Schichte $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{7}{4}$ u. s. w. einer Wellenlänge beträgt, und die hellen Ringe werden sich an denjenigen Stellen befinden, wo diese Dicke $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{4}{2}$ u. s. w. Wellenlängen gleich ist, so daß im durchgelassenen Lichte gerade die Stellen hell erscheinen, die im reflektirten Lichte dunkel sind und umgekehrt; alles so wie es die Erfahrung wirklich zeigt. Man sieht nun von selbst ein, daß für die Strahlen der verschiedenen Farbengattungen des weißen Lichtes die Dicke der dünnen Schichte dort, wo irgend ein bestimmter farbiger oder dunkler Ring hinfällt, in dem nämlichen Verhältnisse kleiner sein müsse, in welchem die dem betreffenden Lichte entsprechende Wellenlänge kleiner ist, und daß die im weißen Lichte am Farbenglase sich darbietende Erscheinung wirklich, wie oben angegeben wurde, das Resultat der Ueber- und Nebeneinanderlagerung der allen einzelnen farbigen Bestandtheilen dieses Lichtes entsprechenden Ringsysteme sei.

Wilde bekämpft diese Theorie der Newton'schen Farbenringe als nicht in allen Theilen ganz richtig. Das Nähere hierüber findet man in Pogg. Ann. B. 156, S. 407 und B. 158, S. 18 und 188.

340. Doppelte Brechung des Lichtes. Die meisten durchsichtigen Körper brechen das Licht so, daß jeder auf sie auffallende einzelne Strahl, auch nach der Brechung ein einziger Strahl bleibt, oder daß er in den Fällen, wo (wenn der Strahl nicht homogen ist, zu Folge Farbenzerstreuung) eine Zerlegung in farbige Theile vor sich geht, alle diese Theile ganz die nämlichen Brechungsgesetze beobachten. Diese Brechung heißt die einfache Brechung des Lichtes, und wir haben ihr Wesen und ihre Gesetze in **295** u. s. w. bereits kennen gelernt. Sie findet in allen Substanzen Statt, welche an den Stellen, wohin die Strahlen eindringen, eine gleichförmige Struktur und Dichte haben. In sehr vielen Körpern aber wird ein auffallender einzelner Strahl bei der Brechung, abgesehen von der mit dieser verbundenen Farbenzerstreuung, in zwei von einander wesentlich verschiedene Theile gespalten, welche je nach der Beschaffenheit des brechenden Körpers und der Richtung des einfallenden Strahles mehr oder weniger gegen einander geneigt sind. Der Winkelabstand beider ist zuweilen groß, und läßt sich meistens beobachten; in sehr vielen Fällen kann jedoch die erfolgte Spaltung nicht unmittelbar wahrgenommen, sondern die Nothwendigkeit ihres Vorhandenseins nur aus gewissen Erscheinungen erkannt werden, die sich nicht anders als durch Voraussetzung dieser Spaltung erklären lassen. Man nennt die Brechung, bei welcher eine solche Spaltung (eines einzelnen Strahles) Statt findet, die doppelte Brechung des Lichtes, und die Körper, welchen sie eigen ist, doppelt brechende Körper. Dazu gehören, außer vielen nicht krystallisirten (amorphen) Substanzen, die sich z. B. zu Folge ungleicher Ausdehnung oder Zusammendrückung im Zustande ungleichförmiger Dichte befinden, alle krystallisirten durchsichtigen Körper, deren Krystallgestalten sich nicht aus dem Hexaeder ableiten lassen, und unter diesen Körpern besitzt die doppelt brechende Eigenschaft der deshalb und wegen seines häufigen Vorkommens in Island sogenannte Doppelspath oder isländische Kalkspath in besonders auffallendem Grade. Da sich die Erscheinungen der doppelten Brechung am Doppelspathe leicht beobachten lassen, so wollen wir sie und ihre Gesetze zuerst an diesem Minerale kennen lernen, an welchem, nebenbei gesagt, die doppelte Brechung auch zuerst und zwar von Bertholin in Kopenhagen in der zweiten Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts entdeckt wurde.

Der Doppelspath ist krystallisirter kohlensaurer Kalk (bestehend aus 56 Theilen Kalk und 44 Theilen Kohlensäure) und wird fast in allen Ländern nnd in verschiedenen Krystallgestalten, mitunter auch in großen Massen gefunden. Ob er als Krystall oder in Masse vorkommt, immer läßt er sich nach drei verschiedenen Richtungen vollkommen spalten, und man erhält, wenn die Spaltung wirklich und gehörig vorgenommen wird, als Theilungsgestalt, die zugleich Kerngestalt ist (S. 58), ein Rhomboeder, d. i. eine von sechs gleichseitigen schiefwinkligen Vierecken begrenzte Figur (wie Fig. 687). An der besagten Kerngestalt und an jeder andern Theilungsgestalt des Doppelspathes sind zwei einander gegenüberliegende Ecke **A** und **B** vorhanden, deren jedes von drei gleichen, gegeneinander gleichgeneigten, stumpfen ebenen Winkeln gebildet wird, während jedes der übrigen sechs Ecke von einem stumpfen und zwei spitzigen Winkeln begrenzt ist. Kürze halber sollen die zwei ersteren Ecke künftig immer die stumpfen, und die andern die spitzigen Ecke heißen. Eine gerade Linie, welche mit den drei Kanten eines stumpfen Eckes gleiche Winkel macht (d. i. die Mittellinie oder Axe des stumpfen Eckes), oder jede dieser Geraden parallele Linie bildet das, was man optische Axe oder Axe der doppelten Brechung des Doppelspathes nennt. Jedem Punkte eines Doppelspathes entspricht also eine

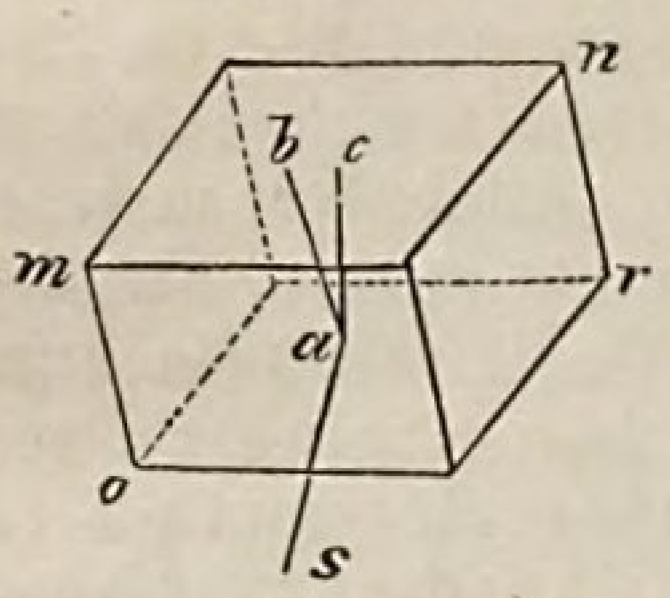
Fig. 687.



optische Axe. Alle diese Axen sind der krystallographischen Hauptaxe des Rhomboeders (der Kerngestalt) d. i. der die beiden stumpfen Ecke desselben verbindenden Geraden **AB** parallel und diese Gerade selbst ist eine optische Axe und wird immer gemeint, wenn von der optischen Axe des Doppelspathes schlechtweg geredet wird. Eine jede durch einen Doppelspath hindurch gedachte Ebene, welche die Richtung einer optischen Axe enthält und auf einer natürlichen oder künstlich erzeugten Fläche des Doppelspathes senkrecht steht, bildet einen Hauptschnitt des Doppelspathes.

Legt man auf eine Fläche des Doppelspath-Rhomboeders ein Papierblatt, welches ein kleines, mittelst einer Stecknadel eingestochenes Loch enthält, leitet dann in einem dunkeln Zimmer durch dieses Loch einen Sonnenstrahl **sa** (Fig. 688) in den Doppelspath, so sieht man auf durchsichtigem Papier, womit jene Fläche (mn) des Krystalls bedeckt worden, die der Eintrittsfläche (or) gegenüber liegt, zwei getrennte helle Punkte b, c, woraus folgt, daß durch den Doppelspath zwei von einander ganz gesonderte Strahlen gegangen sind, also der Strahl **sa** bei seinem Eintritte in den Krystall in zwei, verschiedene Richtungen verfolgende Theile zerlegt, d. h. doppelt gebrochen worden sei. Man sieht diese Theile auch deutlich im Innern des Doppelspathes, und wenn das Papier auf der Fläche mn weggelassen wird, aus dieser Fläche getrennt austreten. Noch deutlicher zeigt sich aber das Phänomen, wenn man den Strahl in der angegebenen Weise durch eine Seitenfläche eines dreiseitigen Prismas aus Doppelspath eintreten läßt, wo dann jeder der zwei an der andern Seitenfläche austretenden Theile zugleich ein eigenes Farbenbild gibt, da bei jedem dieser zwei Theile mit der Brechung auch immer eine Farbenzerstreuung verbunden ist.

Fig. 688.

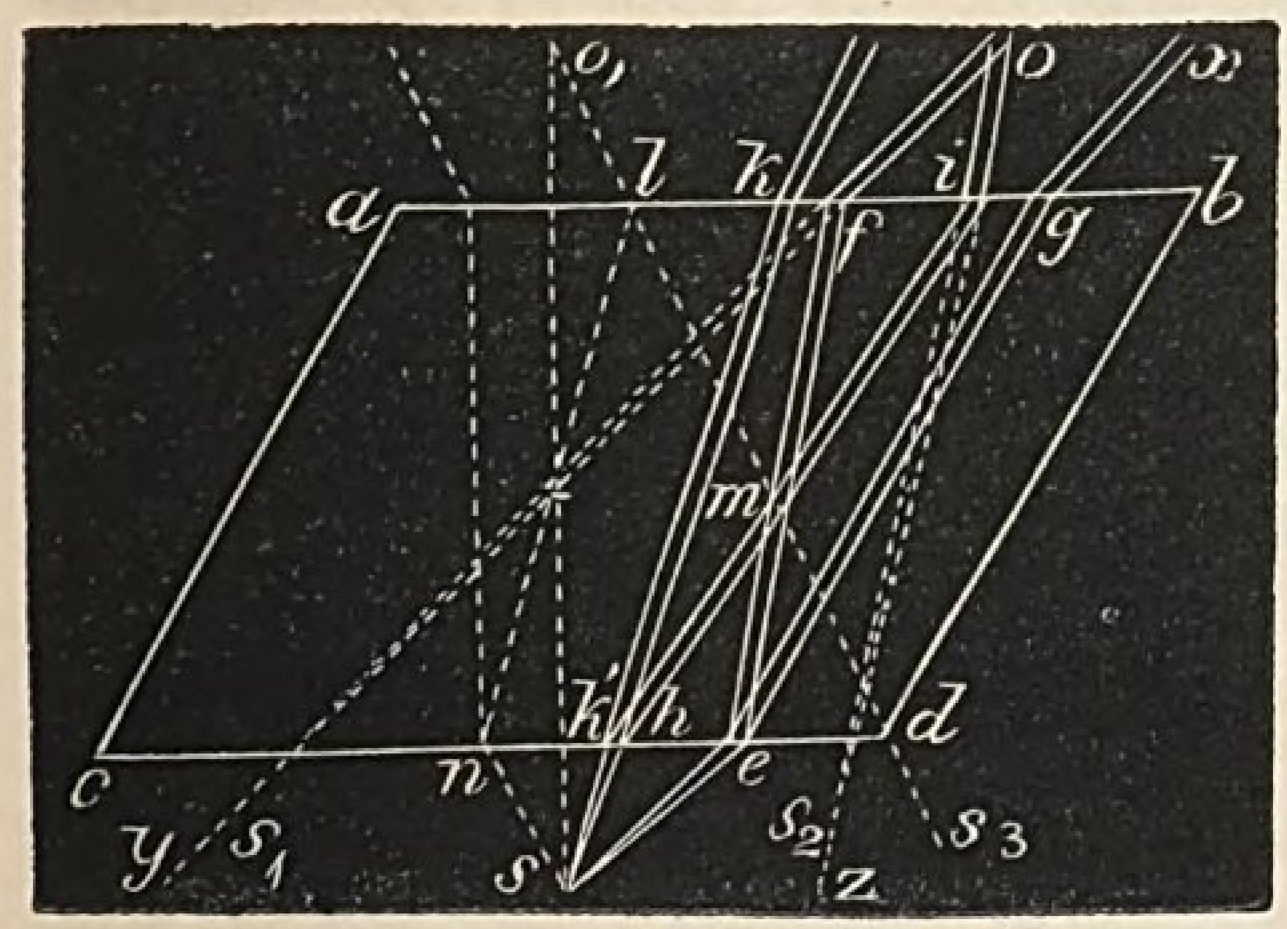


341. Gesetze der doppelten Brechung im Doppelspathe. Eine genaue Bestimmung des Ganges der beiden gebrochenen Theile bei verschiedenen Richtungen des einfallenden Strahles (**sa** Fig. 688) lehrten, daß einer derselben die gewöhnlichen Brechungsgesetze (wie sie bei der einfachen Brechung des Lichtes Statt finden) beobachtet, und daß für ihn das constante Verhältniß zwischen dem Sinus des Einfalls- und des Brechungswinkels 1 : 0·6045 sei, der zweite aber andere Brechungsgesetze befolge. Man heißt deswegen auch ersteren den gewöhnlich gebrochenen oder bloß den gewöhnlichen oder ordentlichen und letzteren den ungewöhnlich gebrochenen, ungewöhnlichen, oder außerordentlichen Strahl. Die weitern Gesetze der Lichtbrechung im Doppelspathe, die schon von Huyghens so genau ermittelt wurden, daß in dieser Beziehung nach ihm wenig mehr zu thun übrig blieb, sind folgende: 1. Fällt ein Strahl auf eine Theilungsfläche des Doppelpathes senkrecht auf, so wird, während der gewöhnliche Theil in unveränderter Einfallsrichtung fortgeht, der ungewöhnlich gebrochene von dieser Richtung um $6^0\ 12'\ 38''$ gegen den (an der Austrittsfläche gelegenen) spitzigen Winkel des Rhomboeders hin abgelenkt, und liegt in dem durch den Einfallspunkt geführten Hauptschnitte. 2. Fällt der Strahl schief ein, so ist zu unterscheiden, ob die Einfallsebene die Lage irgend eines Hauptschnittes hat, oder nicht. Im ersten Falle bleibt nicht nur der gewöhnlich, sondern auch der ungewöhnlich gebrochene Theil in der (verlängerten) Einfallsebene, allein das Verhältniß zwischen dem Sinus des Einfalls- und des Brechungswinkels für den ungewöhnlichen Theil ist nicht constant, sondern ändert sich mit dem Einfallswinkel; im zweiten Falle findet nicht nur die eben besagte Veränderlichkeit des Brechungsverhältnisses für diesen (ungewöhnlichen) Strahl statt, sondern derselbe tritt auch aus der Einfallsebene heraus und wird vom Hauptschnitte desto mehr abgelenkt, je näher der Winkel,

den die Einfallsebene mit dem Hauptschnitte macht, 90° kommt. Bei einem Einfallswinkel von 90° ist die besagte Ablenkung am größten. 3. Erzeugt man an einem Doppelspathe oder an einem Stücke desselben (durch Wegschneiden oder Wegschleifen eines entsprechenden Theiles und nachheriges Poliren) eine ebene, gegen die optische Axe senkrechte Fläche, so wird ein auf diese Fläche senkrecht, also zur besagten Axe parallel einfallender Strahl nicht in zwei Theile zerlegt und nicht von seiner Einfallsrichtung abgelenkt. Schief einfallende Strahlen erfahren zwar die doppelte Brechung; da aber jede Einfallsebene ein Hauptschnitt ist, so bleibt auch der ungewöhnlich gebrochene Strahl immer in der ersteren. 4. Ist die in angegebener Weise künstlich erzeugte Fläche des Doppelspathes, auf welche das Licht einfällt, der optischen Axe parallel und macht die Einfallsebene mit dieser Axe einen rechten Winkel, so beobachtet auch der sonst ungewöhnlich gebrochene Strahl die gewöhnlichen Brechungsgesetze; er bleibt nicht nur in der Einfallsebene, sondern auch das Brechungsverhältniß für denselben ist constant und zwar 1 : 0·6742. Da das Brechungsverhältniß für den gewöhnlich gebrochenen Strahl 1 : 0·6045 ist, so erhellet, daß dieser dem Einfallslothe näher liege als der ungewöhnlich gebrochene. Geht die Einfallsebene des Strahles, der auf die zur Axe parallele Fläche einfällt, längst der Axe oder ihr parallel, so bleiben ebenfalls beide gebrochenen Theile in der Einfallsebene, aber es wird jetzt der ungewöhnliche der dem Einfallslothe näherliegende sein, und das Brechungsverhältniß für denselben beobachtet nun wieder ein anderes Gesetz, als im vorhergehenden Falle.

Diese Gesetze sind der Schlüssel zur Erklärung aller Erscheinungen der doppelten Brechung im Doppelspathe. Die auffallendste darunter ist, daß er die durch ihn betrachteten Gegenstände doppelt zeigt. Sie erklärt sich folgender Maßen. Es sei a b c d (Fig. 689) ein Hauptschnitt des Krystalls, s ein leuchtender Punkt und o das Auge. Von den Strahlen, die s aussendet, wird gewiß auch einer, z. B. s e, die Fläche c d so treffen, daß von den zwei Theilen, in die er gespalten wird, einer, z. B. der gewöhnlich gebrochene, der im Krystall die Richtung e f nimmt und bei f parallel zu s e wieder austritt (und zwar wegen des Parallelismus der Flächen a b und c d), ins Auge o gelangt. Der ungewöhnliche Theil e g kann dann, da er unter beträchtlicher Ablenkung von e f den Doppelspath passirt und denselben bei g ebenfalls nach einer zu s e, mithin auch zu so parallelen Richtung (und zwar aus dem nämlichen Grunde wie der gewöhnliche Theil) wieder verläßt, nicht ins Auge kommen, dagegen wird dieses sicherlich den ungewöhnlich gebrochenen Theil h i eines andern der von s nach allen Richtungen ausgehenden Strahlen z. B. des Strahles s h empfangen, während der gewöhnlich gebrochene Theil h k dieses Strahles dasselbe verfehlt. Das Auge muß daher zwei Bilder des Punktes s sehen, das eine, welches zu Folge gewöhnlicher Brechung entsteht, in der Richtung o y und das andere, aus der ungewöhnlichen Brechung hervorgegangene nach der Richtung o z. Was wir hier Strahl, dann gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochenen Theil desselben nannten, sind eigentlich Bündel divergenter Strahlen. Solche Bündel sind also auch die ins Auge gelangenden Theile f o und i o, und wir sehen daher in dem scheinbaren Kreuzungspunkte s_1 der divergenten Strahlen des Bündels f o das eine und in dem gemeinschaftlichen Punkte s_2, von welchem die divergenten Strahlen des Bündels i o herzukommen scheinen, das zweite Bild des Punktes s. Da die gebrochenen Strahlenbündel e f und h i im Innern des Krystalls sich kreuzen (bei m), so muß, wenn man mit einem Papierblatte längst der Fläche c d, z. B. von d nach c, hinfährt, das in der Richtung der Bewegung weiter entfernte Bild s_1, weil es seine Entstehung dem näher gelegenen Strahl s e verdankt, zuerst verschwinden, wie dies die Erfahrung auch wirklich zeigt. Ebenso sieht man nach dem 2. Gesetze ein, warum eine dem Hauptschnitte parallele Linie einfach erscheint, (das durch die ungewöhnliche Brechung erzeugte Bild dieser Linie fällt nämlich in die Verlängerung des andern Bildes und zum größten Theile mit diesem zusammen, wenn die Linie größer ist als der Abstand beider Bilder

Fig. 689.



eines ihrer Endpunkte); daß hingegen sogleich das gewöhnliche und das ungewöhnliche Bild, einander parallel zum Vorschein kommen und letzteres um ersteres sich herum bewegen müsse, wenn man den Krystall aus seiner vorigen Lage um eine auf die betrachtete Linie senkrechte Axe dreht.

342. Doppelte Brechung in andern Körpern. Aehnlich, wie der Doppelspath, verhalten sich gegen das Licht alle krystallisirten Körper, die in das rhomboedrische oder in das pyramidale Krystallsystem gehören, deren Krystallgestalten sich also aus einem Rhomboeder oder aus einer gleichkantigen vierseitigen Pyramide ableiten lassen. Sie brechen das Licht doppelt wie der Doppelspath, und unterscheiden sich von diesem hauptsächlich nur durch die nummerischen Werthe der Brechungsverhältnisse sowohl für den gewöhnlich als für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl. Zu den Körpern dieser Art gehören: der Turmalin, Corund, Saphir, Smaragd, Rubin, Apatit, Beryll, Bergkrystall (Quarz), Zirkon, Eisenoxyd, Eis u. a. m. Krystalle hingegen, die in eines der prismatischen d. i. in eines der letzten vier der 7 Moh's'schen Krystallsysteme (44) gehören, brechen das Licht auch doppelt, aber nach anderen Gesetzen als der Doppelspath und die übrigen Körper des rhomboedrischen und des pyramidalen Systems. Während in diesen nur nach einer Richtung hin keine doppelte Brechung stattfindet (die den einzelnen Punkten entsprechenden optischen Axen alle unter einander parallel sind) und diese Richtung für jede Gattung farbigen Lichtes die nämliche ist, gibt es in den doppelt brechenden Körpern der prismatischen Systeme zwei verschiedene Richtungen, längst welchen keine Doppelbrechung erfolgt und diese Richtungen sind für Strahlen verschiedenen Grades der Brechbarkeit verschieden, verändern sich überdies oft auffallend mit der Temperatur. Man nennt deswegen die doppelt brechenden Körper der letzteren Art Körper mit zwei optischen Axen oder zweiaxige und jene der ersteren Art Körper mit einer optischen Axe oder einaxige. Bei den einaxigen Krystallen unterscheidet man die positiven und negativen Krystalle, jenachdem in ihnen der gewöhnliche oder der ungewöhnliche Strahl von der Brechungsaxe weniger abgelenkt wird. So ist z. B. der Kalkspath ein negativer, der Bergkrystall hingegen ein positiver Krystall. In den zweiaxigen Krystallen gibt es im Allgemeinen keinen gewöhnlich gebrochenen Strahl. Der Winkel, den die zwei optischen Axen gegen einander bilden, ist bei verschiedenen Krystallen ungleich. Zu den krystallisirten Körpern mit zwei optischen Axen gehören unter andern folgende: (die einem jeden beigesetzte Zahl gibt die Größe des Winkels an, den seine zwei optischen Axen einschließen): Glimmer (einige Arten) 6°, Talk 7° 24′, Borax 28° 42′, Salpeter 5° 20′, Gyps 60°, Schwerspath 37°42′, Feldspath 63°, Arragonit 13° 18′, Weißbleierz (kohlensaures Bleioxyd) 5° 15′, Topas 65°, Zucker 50°, Cyanit 81° 48′, Cölestin (schwefelsaurer Strontian) 50°, kohlensaures Kali 80° 30′, Citronensäure 70° 29′, Weinsteinsäure 70°, Eisenvitriol (schwefelsaures Eisenoxydul) 90°, chlorsaures Kali 82°, schwefelsaures Kali 67° u. s. w.

Bei den meisten doppelt brechenden Körpern haben die Axen der doppelten Brechung gegen die natürlichen Krystallflächen eine so geringe Neigung, daß die zwei Lichtbündel, in welche ein selbst sehr schief einfallender Strahl gespalten wird, gegen einander zu wenig divergiren, um die doppelte Brechung bemerkbar zu machen. Die beiden durch diese Brechung entstehenden Bilder selbst eines ganz feinen Punktes fallen nämlich beinahe ganz zusammen, so daß sie sich von einander nicht unterscheiden lassen. Man muß daher den besagten Krystallen, um die doppelte Brechung derselben deutlich wahrnehmen zu können, künstliche, gegen die Axen dieser Brechung stark geneigte Flächen geben und erreicht, selbst dies vorausgesetzt, in vielen Fällen auch nur dann seinen Zweck, wenn das durch den betreffenden Krystall betrachtete Object eine scharfe Nadelspitze ist, ja man muß, um diese doppelt zu sehen, oft das Auge noch entsprechend bewaffnen.

343. Erklärung der doppelten Brechung nach der Vibrationshypothese. Die Basis dieser Erklärung bildet die Annahme, daß der

Aether, durch dessen Schwingungen nach der Vibrationstheorie bekanntlich die Fortpflanzung des Lichtes bewirkt wird, in doppelt brechenden Körpern nicht nach allen Richtungen die nämliche Elastizität besitzt, und, — da die Geschwindigkeit dieser Fortpflanzung nur von der Elastizität des Aethers in der Richtung, nach welcher dessen Theilchen schwingen, abhängt, — die aus der besagten Annahme fließende Folgerung, daß in doppelt brechenden Substanzen das Licht sich nicht nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzt. Da im Doppelspathe und in allen andern einaxigen Krystallen für den einen (den gewöhnlich) gebrochenen Strahl, wie die Erfahrung lehrt, zwischen dem Sinus des Einfalls- und des Brechungswinkels immer das nämliche Verhältniß herrscht, der Strahl mag im Krystalle sich nach was immer für einer Seite hin fortpflanzen, so muß derselbe offenbar [weil nach Inhalt von **333** insbesondere unter (8) auf S. 740 die besagten Sinus den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten proportional sind] nach allen Richtungen des Krystalls mit gleicher Geschwindigkeit fortschreiten, daher die Wellenoberfläche, welche dem von einem Punkte aus nach allen Seiten im Krystalle sich fortpflanzenden, gewöhnlich gebrochenen Strahle entspricht, ganz so wie bei der einfachen Brechung kugelförmig sein. Für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl ist aber, wie die Erfahrung lehrt, das Brechungsverhältniß nicht bei allen Richtungen seiner Fortpflanzung im Krystalle dasselbe, sondern hängt von dem Winkel ab, den der Strahl mit der Axe bildet; es kann also auch seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit nicht nach allen Seiten hin die nämliche und mithin die Wellenoberfläche der ungewöhnlich gebrochenen Strahlen keine kugelförmige sein. Den Erscheinungen gemäß muß diese Geschwindigkeit in der Richtung der optischen Axe ihr Minimum und senkrecht darauf ihr Maximum haben, oder es muß das Umgekehrte der Fall sein, und es steht mit den erwähnten Erscheinungen in vollkommenem Einklange, sich die besagte Wellenoberfläche ellipsoidisch d. i. von der Form zu denken, welche durch Rotation (Umdrehung) einer Ellipse um eine ihrer Hauptaxen entsteht. Nimmt man an, daß durch Erschütterung eines jeden Punktes des Lichtäthers in einem doppelt brechenden einaxigen Krystalle gleichzeitig zwei Wellen erzeugt werden, wovon die eine kugelförmig und die andere ein mit der Kugelwelle concentrisches Rotationsellipsoid ist; daß die Rotationsaxe des letzteren in der Richtung der optischen Axe oder ihr parallel geht; daß der Polarhalbmesser des Ellipsoids zu dessen Aequatorialhalbmesser im Verhältnisse des oben besagten Minimums und Maximums der Geschwindigkeit d. i. im Verhältnisse der Geschwindigkeiten parallel und senkrecht auf die Axe steht; daß das Verhältniß, in welchem die Dimensionen der ellipsoidischen Wellen unter sich und zu jener der Kugelwelle stehen, von der materiellen Beschaffenheit des Krystalls abhängt, und daß endlich in gewissen einaxigen Krystallen (in den positiven nämlich) die kleine, in den andern (den negativen) hingegen die große Axe der das Ellipsoid erzeugenden Ellipse die Rotationsaxe dieses letzteren ist: so hat man alles Wesentliche zur vollkommenen Erklärung der Erscheinungen der doppelten Brechung in den besagten Krystallen. In das Detail dieser Erklärung, welches weniger in dem Zwecke dieses Buches liegt, kann jedoch hier wegen Mangel an Raum nicht eingegangen werden.

In den zweiaxigen Krystallen befolgt, wie wir von oben her wissen, keiner der Theile, in welcher ein auffallender Strahl gespalten wird, die Gesetze der gewöhnlichen Brechung; es gibt daher in diesen Krystallen auch keine kugelförmige Welle, sondern es geht, nach Fresnel, in denselben von jedem erschütterten Punkte des Aethers eine Doppelwelle aus, deren Oberfläche aber auch nicht durch Rotation einer Ellipse entstanden gedacht werden kann. Da eine verständliche Darstellung und Rechtfertigung dieser ganz eigenthümlichen Wellenfläche, welche Fresnel

aus einer in zweiaxigen Krystallen vorausgesetzten bestimmten Elastizitäts-Beschaffenheit des Aethers ableitete, die elementaren mathematischen Mittel überschreitet, so muß hier auch eine nähere Betrachtung dieser Wellenfläche und ein weiteres Eingehen in die Erklärung der doppelten Brechung in zweiaxigen Krystallen unterlassen werden.

344. Doppelte Brechung in nicht krystallisirten Körpern. Die doppelt brechende Eigenschaft der krystallisirten Körper kömmt bloß von der mit dem krystallinischen Gefüge verbundenen Verschiedenheit in der nach verschiedenen Richtungen stattfindenden Anordnung der kleinsten Körpertheilchen her, welche wieder eine Ungleichheit der Elastizität des Aethers nach diesen Richtungen zur Folge hat. Hebt man die in nicht krystallisirten Substanzen ursprünglich vorhandene Gleichförmigkeit dieser Anordnung durch einseitigen Druck oder durch Temperatur-Aenderung auf, so können sie das Vermögen der doppelten Brechung erlangen, wie das z. B. beim Glase, wenn es nach einer Seite zusammengedrückt wird, oder wenn es stark erhitzt und nachher schnell abgekühlt wurde, und bei vielen eingedickten thierischen und vegetabilischen Substanzen (z. B. Gallerten, Gummi rc. rc.) der Fall ist. So zeigt ein vierseitiges, rechtwinkliges, etwa 1 Zoll dickes Glasprisma, das nach der Richtung der Axe mittelst einer kleinen eisernen Presse nur mäßig zusammengedrückt wird, eine vorgehaltene Nadelspitze deutlich doppelt. Mehrere hieher gehörige Belege an einem andern Orte.

Wie sehr die Wirkung krystallisirter Körper auf das Licht von ihrer Struktur abhängt, davon sind auch die in neuester Zeit von Brewster entdeckten und im Philosoph. Magazine, Jänner 1853, S. 18 beschriebenen optischen Figuren ein Beweis, welche natürliche oder künstliche Krystalle auf ihren Oberflächen zeigen, wenn diesen zu Folge Einwirkung von Auflösungsmitteln, Säuren o. dgl. oder zu Folge mechanischer Aufrauhung die Continuität fehlt.

Werthheim hat das Gesetz entdeckt, daß der Gangunterschied zwischen dem gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strahl d. i. das Doppelbrechungsvermögen bei Glassorten proportional ist der ausgeübten Druckkraft, unabhängig von der Länge und Höhe, und umgekehrt proportional der Breite des Glasstückes sei, und daß bei gleichen Gangunterschieden die Belastungen, die zu diesen gleichen Unterschieden erfordert werden, proportinal sind den Elastizitätscoeffizienten, so daß, wenn sich dieses Gesetz allgemein bewähren sollte, man sich der Doppelbrechung zur Bestimmung der Elastizitätscoeffizienten unkrystallisirter durchsichtiger Stoffe wird bedienen können. (Pogg. Ann., Nr. 6, 1852, S. 321.)

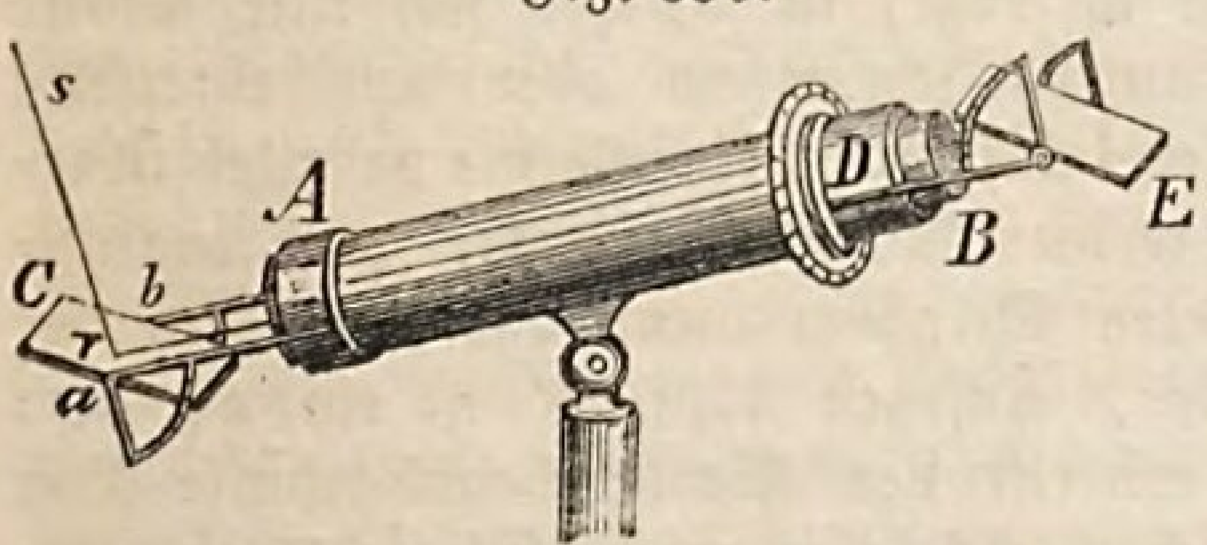
345. Polarisation des Lichtes. Ein Lichtstrahl, welcher unmittelbar von der Sonne oder von einem andern selbst leuchtenden Körper herkömmt, erfährt, wenn er von einem Mittel reflektirt oder transmittirt (durchgelassen) wird, die Reflexion oder Transmission, vorausgesetzt, daß er auf die betreffende Fläche immer in der nämlichen Weise auffällt, stets in derselben Art und mit ganz gleicher Intensität, diese Fläche mag dem Strahle von oben oder von unten, von seiner rechten, von seiner linken oder von irgend einer andern Seite her dargeboten werden, so daß er in dieser Beziehung auf allen Seiten mit gleichen Eigenschaften versehen erscheint. Dies gilt, das direkt von dem selbst leuchtenden Körper kommende Licht mag weiß sein, oder was immer für eine Farbe haben, und so sich verhaltendes Licht heißt gemeines oder gewöhnliches Licht. Es gibt aber auch Lichtstrahlen, welche diese allseitig gleiche Beschaffenheit nicht zeigen, bei welchen es nicht gleich gilt, welche Lage die Fläche, auf die sie unter bestimmtem Winkel auffallen, gegen sie hat. Ein solcher Strahl scheint gleichsam Seiten, eine vordere, eine hintere, eine rechte, eine linke u. s. w. zu haben, die rücksichtlich ihrer Eigenschaften verschieden sind, da ungleich intensive Antheile desselben reflektirt oder (unter andern Umständen) durchgelassen werden, je nachdem ihm die Flächen der betreffenden Körper von der einen oder von einer andern Seite her dargeboten werden. Man nennt einen in diesem Zustande befindlichen Strahl polarisirt, den Zustand selbst Polarisation, und es kann gemeines Licht auf ver-

schiedene Art in diesen (von Malus im Jahre 1810 entdeckten) Zustand versetzt werden.

Wir wollen im Folgenden zunächst die Wege, auf welchen polarisirtes Licht erzeugt wird und die dasselbe charakterisirenden Erscheinungen genauer kennen lernen. Polarisirtes Licht wird erzeugt: 1. indem Strahlen gemeinen Lichtes von gewissen Mitteln unter bestimmten Winkeln zurückgeworfen werden (Polarisirung durch Reflexion); 2. indem sie unter gehörigem Winkel durch eine hinreichende Menge Schichten einer nicht oder unvollkommen krystallisirten Substanz gehen (Polarisirung durch einfache Brechung); 3. indem sie durch einen regelmäßig krystallisirten Körper gehen, der die Eigenschaft der doppelten Brechung besitzt (Polarisirung durch doppelte Brechung). Von den charakteristischen Eigenschaften, welche einen polarisirten Strahl als solchen leicht erkennen und von einem gemeinen Strahle unterscheiden lassen, sollen hier vorläufig nur folgende zwei angeführt werden, nämlich die Eigenschaft: 1.) bei gewissen Lagen der Einfallsebene und bei gewisser Größe des Einfallswinkels von einem polirten Körper nicht reflektirt zu werden, während ein gewöhnlicher Strahl immer wenigstens eine theilweise Reflexion erfährt, und 2.) in Körpern, die das Licht doppelt brechen, unter Umständen, wo ein Strahl gemeinen Lichtes in zwei Theile zerlegt wird, eine solche Zerlegung nicht zu erleiden. Das Nähere über diese Eigenschaften an einem anderen Orte. . . . . (169)

346. Polarisirung des Lichtes durch Reflexion. So oft ein Strahl gemeinen Lichtes auf eine polirte Glasplatte unter einem Neigungswinkel von 35° 25′ (daher unter einem Einfallswinkel von 54° 35′) auffällt, ist der von derselben reflektirte Antheil polarisirt; denn läßt man diesen Antheil unter gewissen, sogleich anzugebenden Vorsichten auf eine zweite polirte Glasplatte unter gleichem Winkel, wie auf die erste und überdies so auffallen, daß die Einfallsebenen auf beiden Platten gegen einander einen rechten Winkel bilden; so wird der von der erst genannten Glasplatte reflektirte und nachher auf die zweite gelangende Strahl von dieser **nicht** zurückgeworfen. Um sich hievon zu überzeugen und auch die Eigenschaften und das Verhalten polarisirter Strahlen in andern Beziehungen untersuchen zu können, bedient man sich am besten eigener Apparate, **Polarisationsapparate** oder **Polarisationsinstrumente** genannt. In einfacherer Einrichtung besteht ein solcher Apparat aus einer Metall-, Holz- oder Pappendeckel-Röhre **AB** (Fig. 690), die an einem Ende eine Glasplatte **C** trägt, welche sich um eine Axe **ab** drehen und unter verschiedenen Winkeln gegen die Axe der Röhre **AB** feststellen läßt. Auf dieser Röhre steckt eine ähnliche, aber nur ganz kurze Röhre **D**, die ebenfalls eine mit **C** ähnlich eingerichtete Glasplatte **E** trägt und auf **AB** drehbar ist, so daß man die zwei Glasplatten in jede beliebige Lage gegen einander bringen kann.

Fig. 690.



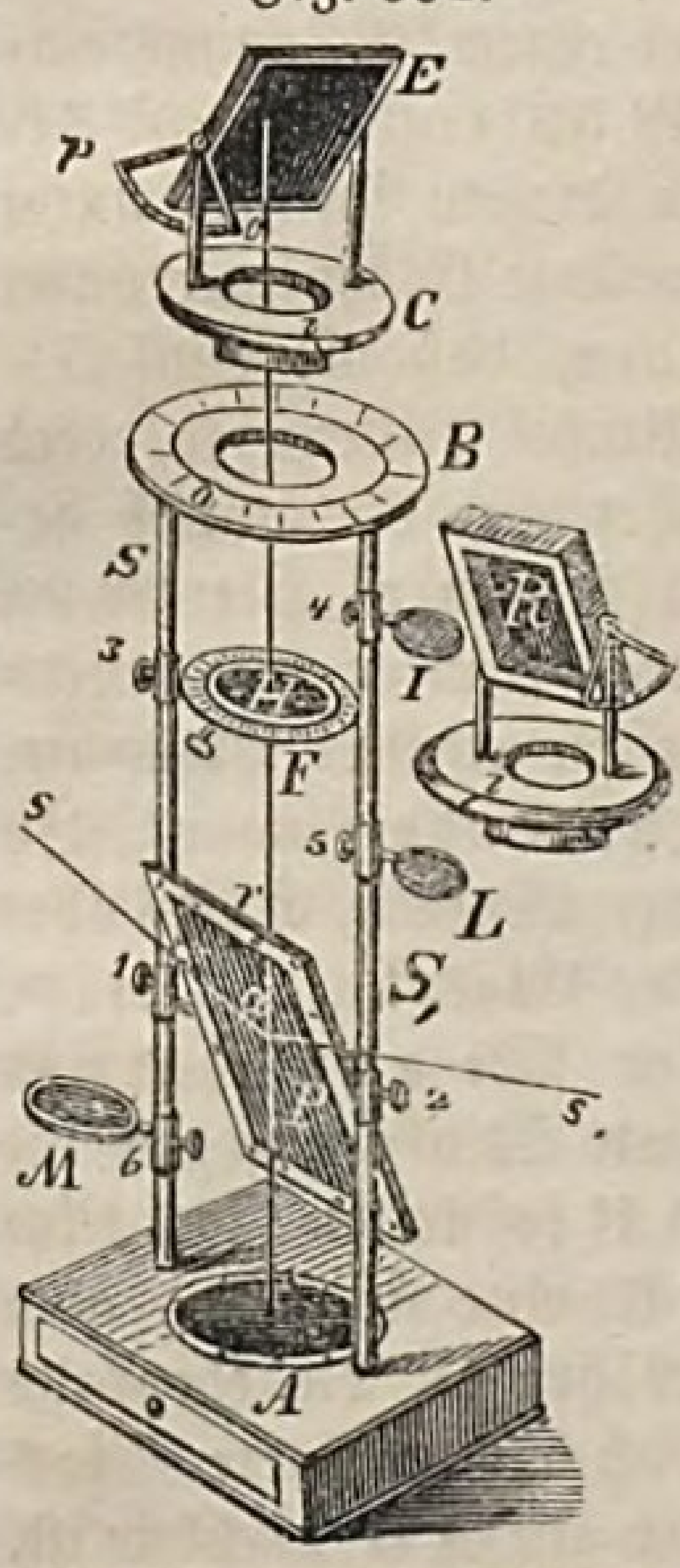
Fallen nun, etwa von einer in einem geschlossenen Fensterladen angebrachten Oeffnung her, Lichtstrahlen auf die dem Rohre **AB** zugekehrte Fläche einer der Glasplatten z. B. der Platte **C** so auf, daß sie, wie z. B. der Strahl **sr**, von dieser unter einem Winkel von 54° 35′ reflektirt werden und dann zur Axe der Doppelröhre **AD** parallel durch diese Röhre gehen, (zu welchem Ende die Platte **C** gegen die eben besagte Axe unter 35° 25′ geneigt sein muß); stellt man ferner die zweite Glasplatte **E** der Art, daß die Strahlen auch unter dem Einfallswinkel von 54° 35′ an diese Platte treffen und die Einfallsebenen auf **E** den Reflexionsebenen von **C** parallel sind, so werden die Strahlen von der Platte **E** nicht reflektirt; es sieht nämlich das nahe an **E**

gebrachte Auge in dieser Glasplatte nicht mehr das Bild der Oeffnung im Fensterladen, während dieses bei jeder andern gegenseitigen Lage der beiden Glasplatten wahrgenommen wird.

Damit der Versuch gehörig gelinge, muß die Zurückwerfung des Lichtes an der hintern, von der Röhre AB abgewendeten Fläche der Glasplatte C verhütet und zu dem Ende diese Fläche mit schwarzem Firniß, Tusch o. dgl. überzogen sein. Eine solche Schwärzung hält zugleich die Strahlen ab, welche sonst von hinter C vorhandenen Gegenständen her durch C hindurchgehen, mit den durch Reflexion von dieser Platte polarisirten Strahlen auf die zweite Platte E gelangen, und aus später klar werdendem Grunde die Wirkung dieser Strahlen stören oder, in wie fern sie mit ihnen in einerlei Richtung von C nach E gelangen, gänzlich aufheben würden. Die besagte Schwärzung bewirkt also eine Isolirung der durch Reflexion polarisirten Strahlen und ist überall unerläßlich, wo es sich darum handelt, solche Strahlen, behufs der Nachweisung ihrer Eigenschaften oder zu andern Zwecken, allein zu erhalten, und wo nicht auf eine andere Weise für diese Isolirung gesorgt ist. Die Stelle einer in angegebener Art geschwärzten Glasplatte kann recht gut eine Platte aus Hyalith (aus in der Masse schwarz gefärbtem Glase) oder aus Obsidian vertreten werden.

Bevor wir in die weitere Darstellung des Verhaltens und der Eigenschaften der durch Reflexion polarisirten Strahlen eingehen, soll ein nicht nur zu diesem Zwecke, sondern auch zur Betrachtung und Untersuchung aller andern abzuhandelnden Polarisationserscheinungen eben so nothwendiger als vorzüglich geeigneter Apparat, nämlich das von **Nörrenberg** angegebene Polarisationsinstrument beschrieben werden, welches in Fig. 691 im Achtel der natürlichen Größe abgebildet ist.

Fig. 691.



K ist ein als Fußgestell dienendes hölzernes Kästchen, von welchem sich zwei vertikale, cylindrische Metallstäbe **S**, $\mathbf{S_1}$ erheben, zwischen denen sich vermittelst Hülsen mit Klemmschrauben 1, 2 ein metallener Rahmen r auf- und abschieben und feststellen läßt, welcher um eine horizontale Axe mit Reibung drehbar ist und eine ebene, wohlgeschliffene Spiegelglasplatte **P** eingesetzt enthält, die als polarisirendes Mittel (Polariseur) dient. **A** ist ein, gewöhnlich auf dem Kästchen befestigter horizontaler Planspiegel aus mit Spiegelfolie belegtem Glase, und **B** ein an den Enden der Stäbe festgeschraubter Metallring, in dessen kreisrunde Oeffnung ein anderer, darin leicht drehbarer Metallring **C** paßt, der einen zweiten um eine horizontale Axe beweglichen und unter verschiedenen Neigungen feststellbaren Rahmen **E** trägt, in welchen sich eine Platte aus (durch und durch) schwarzem oder nur einerseits geschwärztem Spiegelglase oder eine Reihe parallel übereinanderliegender weißer Glasplatten, die zur Analysirung der polarisirten Strahlen dient und deswegen der Analyseur heißt, einsetzen läßt. **F** ist ein an dem einen der Stäbe mittelst der Klemmschraubenhülse 3 in beliebiger Höhe feststellbarer Ring, in welchem sich eine runde Platte **H** aus reinem, nicht zu dickem Glase um eine vertikale Axe drehen und auch durch Drehung um eine horizontale Axe unter verschiedenen Winkeln gegen den Horizont stellen läßt. Sie dient für die den polarisirten Strahlen auszusetzenden Körper als Träger und soll, den Ring **F** mit einbegriffen, in der Folge immer das Tischchen genannt werden. **J**, **L**, **M** sind in metallenen Fassungen eingesetzte Sammellinsen, die mittelst Klemmschraubenhülsen 4, 5, 6 in verschiedenen Höhen zwischen **A** und **E** festgestellt werden können, deren Zweck aber erst später bei den betreffenden Versuchen selbst angegeben werden kann. In den Ring **B** lassen sich anstatt der beschriebenen Analyseurs auch noch andere einsetzen, von denen aber auch erst später das Nähere angegeben werden kann, und endlich ist noch zu be-

merken, daß dieser Ring an seiner ebenen Fläche mit einer Kreistheilung zur Messung der Drehungswinkel der Analyseurs versehen ist.

Um nun mittelst dieses Instrumentes die Polarisirung durch Reflexion darzuthun, bringe man dasselbe in die Nähe eines Fensters, am besten so, daß diesem die untere Fläche des Polariseurs **P** zugewendet ist, und gebe diesem eine Neigung von 35⁰25′ gegen die Axe des Instrumentes (gegen die durch den Mittelpunkt des Ringes **B** gehende und auf dem Planspiegel **A** senkrecht stehende Gerade). Es erfahren dann alle Strahlen des Tageslichts, welche, wie z. B. der Strahl **s a**, auf die untere Fläche von **P** unter 35⁰ 25′ Neigung gegen dieselbe, entweder unmittelbar oder durch einen eigenen Beleuchtungsspiegel ihr zugesendet, auffallen, die Polarisirung, werden in diesem Zustande dem Planspiegel **A** zugeworfen und gelangen von da, aufwärts und der Axe des Instrumentes parallel reflektirt, ohne daß hierbei oder beim nachherigen Durchgang durch die Glasplatte **P** eine Aenderung des erzeugten Polarisationszustandes bewirkt wird, auf den (aus einer schwarzen oder aus mehreren übereinander liegenden weißen Glasplatten bestehenden) Analyseur **E**. Von dem die zweite (obere) Fläche von **P** treffenden Tageslichte werden die Strahlen, welche, wie der Strahl s_1 **a**, unter 35⁰ 25′ gegen **P** geneigt auffallen, durch Reflexion nach aufwärts in gleicher Weise polarisirt, wie die vorigen, durch die untere Fläche von **P** reflektirten Strahlen, und gelangen mit diesen vereinigt und in der nämlichen Richtung an den Analyseur, so daß hier alle ganz übereinstimmend sich verhalten. Man gebe nun und zwar mittelst des Gradbogens **o p** auch dem Analyseur eine Neigung von 35⁰ 25′ gegen die Axe des Instrumentes und stelle ihn durch Drehung in **B** so, daß die (unter einander parallelen) Einfallsebenen der polarisirten Strahlen auf demselben mit den (ebenfalls unter einander parallelen) Reflexionsebenen auf **P** rechte Winkel bilden, was der Fall ist, wenn er (der Analyseur) gegen den Polariseur die in der Figur 691 anschaulich gemachte, oder die davon um 180⁰ verschiedene Stellung hat. (In beiden letzteren Stellungen befindet er sich aber, wenn eine gerade Linie **i**, welche genau in der Mitte der vordern Hälfte des Ringes **C** eingerissen ist und für die Kreistheilung auf **B**, die den Nullpunkt in der Mitte einer ihrer zwischen den Säulen **S** S_1 gelegenen Hälften hat, als Index dient, auf 90⁰ oder 270⁰ dieser Theilung steht.) Es werden dann die durch **P** dem Analyseur **E** zugesendeten Strahlen von diesem nicht reflektirt: denn sieht man auf die Fläche von **E** nach einer nahe um 35⁰ 25′ gegen sie geneigten Richtung hin, so daß von den besagten Strahlen, wenn sie von dieser Fläche reflektirt würden, ein Theil ins Auge kommen, das Gesichtsfeld also hell erscheinen müßte, so findet man letzteres dunkel. Uebrigens zeigen sich bei der in Rede stehenden Polarisation noch folgende Erscheinungen. Dreht man den Analyseur aus den bezeichneten Stellungen bei 90⁰ oder bei 270⁰ heraus und nach der einen oder der andern Seite hin, so nimmt die Dunkelheit des Gesichtsfeldes immer mehr ab, je weiter der oben erwähnte Index entweder einerseits dem mit 0⁰ oder andererseits dem mit 180⁰ bezeichneten Theilpunkte sich nähert, und bei seinem Zusammenfallen mit einem dieser Punkte (wo dann die Einfallsebenen auf **E** mit den Reflexionsebenen auf **P** parallel sind) erscheint das Gesichtsfeld am hellsten. Wird noch weiter über den Punkt 0⁰ oder 180⁰ hinaus gedreht, so nimmt die Helligkeit des Gesichtsfeldes mit der Drehung wieder allmälig ab, bis endlich der Index bei 270⁰ oder 90⁰ eintrifft, wo dann wieder ganz die vorige Dunkelheit des Gesichtsfeldes zurückgekehrt ist. Demnach wird jeder der polarisirten Strahlen in größter Intensität reflektirt, wenn er auf den reflektirenden Körper mit einer bestimmten oder mit der von dieser um 180⁰ abstehenden Seite auffällt; er erfährt keine Reflexion, wenn die Auffallsseite von einer der eben bezeichneten um 90⁰ absteht, und es wird von jedem polarisirten Strahle immer weniger reflektirt, je weiter seine Auffallsseite von einer

der Seiten größter Intensität entfernt und gegen eine Seite von der Intensität Null hin liegt.

347. Polarisationswinkel. Polarisationsebene. Stellt man die polarisirende Glasplatte **P** unter irgend einem andern Winkel als 35° 25′ z. B. unter dem Winkel von 30° gegen die Axe des Instrumentes, so wird diese Platte dem Analyseur nur Strahlen zusenden können, die unter einer Neigung von 30° gegen sie aufgefallen und unter der nämlichen Neigung reflectirt worden sind. Dreht man nun wieder, wie vorher, den Analyseur um die Axe des Instrumentes herum, so wird sich keine Stellung desselben finden lassen, bei welcher er kein Licht reflektirt, das Gesichtsfeld also völlig dunkel erscheint; es wird dasselbe, wenn der Inder bei 90° oder 270° steht, zwar dunkler sein, als bei allen andern Stellungen des Analyseurs, aber doch weniger dunkel als es der Fall ist, wenn unter sonst gleichen Umständen die Platte **P** mit der Axe des Instrumentes einen Winkel von 35° 25′ bildet, und es folgt hieraus, daß die von der Platte **P** unter einer Neigung von 30° gegen dieselbe oder von 60° gegen das Einfallsloth reflektirten Strahlen nicht vollständig (nicht alle), sondern nur zum Theil polarisirt sind. Man nennt den Winkel, unter welchem Strahlen auf ein polarisirendes Mittel, gegen das Einfallsloth geneigt, auffallen müssen, um vollständig polarisirt zu werden, den Polarisationswinkel. Für Glas ist also dieser Winkel 54° 35′ (d. i. 90° — 35° 25′); für andere Körper ist er ein anderer, so z. B. für Obsidian 57°, für Wasser 53° u. s. w.

Brewster hat das Gesetz entdeckt, daß der Brechungsexponent einer Substanz immer die Tangente des Polarisationswinkels der Substanz ist. Aus diesem Gesetze folgt, daß bei einem und demselben Körper jedem farbigen Bestandtheile des weißen Lichtes ein anderer und bestimmter Polarisationswinkel entspricht und daß daher unpolarisirtes weißes Licht, streng genommen, durch Reflexion nie vollständig polarisirt werden kann. Zugleich setzt uns das Brewster'sche Gesetz in die Lage, für jeden dieser farbigen Bestandtheile den Polarisationswinkel zu bestimmen.

Polarisationsebene nennt man die Reflexionsebene eines durch Reflexion polarisirten Strahles. Es stellt daher auch sowohl die Einfallsebene dieses Strahles vor seiner Polarisirung, als ebenso jene Ebene, dessen Polarisationsebene vor, die auf der Ebene senkrecht steht, in welcher der Strahl nach seiner Polarisirung auf eine Substanz unter dem ihr eigenen Polarisationswinkel auffallen muß, um von derselben nicht reflektirt zu werden. Man begreift nun leicht **1.** was das heiße: ein Strahl sei in einer bestimmten Ebene **X** polarisirt, und **2.** wie die Polarisationsebene eines polarisirten Strahles gefunden werden könne. Ersteres will nämlich sagen, ein Strahl ist so polarisirt, daß er in einer zur Ebene **X** senkrechten Ebene auf eine als Analyseur dienende, passende Substanz unter dem ihr entsprechenden Polarisationswinkel einfallen muß, um sich der Reflexion von derselben zu entziehen, und um die Polarisationsebene eines polarisirten Strahles zu finden, braucht man nur denselben unter 35° 25′ Neigung (54° 35′ Einfallswinkel) auf ein schwarzes Planglas zu leiten und die Stellung des letzteren aufzusuchen, bei welcher er von demselben nicht reflektirt wird; die Ebene, welche bei dieser Stellung mit der Einfallsebene des Strahles auf dem Glase einen rechten Winkel macht, ist die gesuchte Polarisationsebene. Polarisirte Strahlen heißen nach einerlei Richtung oder entgegengesetzt (unter rechtem Winkel) polarisirt, jenachdem ihre Polarisationsebenen parallel, oder senkrecht auf einander sind. . . . . (170)

Das von heiterer Luft in allen Richtungen zurückgeworfene Licht ist theilweise polarisirt. Für einen gegebenen Punkt der Atmosphäre fällt die Polarisationsebene der uns zugesendeten Portion polarisirten Lichtes zusammen mit der diesen Punkt, das Auge des Beobachters und die Sonne durchschneidenden Ebene. Die Polarisation ist in der Nähe der Sonne schwach, wächst von da bis zu einem Abstande von 90° und nimmt dann wieder ab. Nach Arago ist bei Auf- und Untergang der Sonne in einem Punkte der Atmosphäre, der von

der Sonne um 180° entfernt (der Sonne gegenüber) und 20—30° über dem Horizonte liegt, die Polarisation Null. Ein zweiter solcher Neutralpunkt liegt, nach Babinet, oberhalb der auf- und untergehenden Sonne fast eben so hoch über dem Horizonte als Arago's Neutralpunkte an der gegenüberliegenden Seite des Himmels. Er erscheint in Westen, selbst wenn die Sonne noch nicht unter-, und in Osten, wenn sie noch nicht aufgegangen ist.

Die Polarisation des vom blauen Himmel reflektirten Lichtes zeigt sich, wie Haidinger entdeckte, schon dem freien Auge, indem dasselbe, wenn es schnell an irgend eine Stelle des blauen Himmels blickt (besonders wenn man der Sonne den Rücken kehrt, um nicht durch ihr Licht geblendet zu werden) zwei zarte gelbe, in der Mitte mit einander verbundene, an den Enden divergirende Büschel (wie ⪤) von etwa 2° sieht. Man verstärkt den Eindruck, wenn man schnell darauf die Augen schließt und sie dann in gleicher Höhe auf einem größten Kreis durch die Sonne öffnet, der auf jenem größten Kreise senkrecht steht, welcher, durch die Sonne gehend, die Stelle des blauen Himmels enthält, auf die hingeblickt wurde. Es erscheint da ein zweites Büschel kreuzweis gegen das erste und viel deutlicher.

348. Polarisation durch einfache (gewöhnliche) Brechung. Fallen Lichtstrahlen auf eine durchsichtige Glasplatte unter 35° 25′ Neigung gegen dieselbe auf, so ist nach Vorhergehendem der von der Platte reflektirte Antheil polarisirt. Ist diese Platte durchsichtig, so zeigt sich auch der durch dieselbe durchgegangene Antheil der aufgefallenen Strahlen polarisirt, aber nur sehr unvollständig. Leitet man diesen durchgegangenen Antheil aber auf eine zweite, der ersten parallele Glasplatte, so enthält der aus dieser wieder austretende Antheil schon mehr polarisirte Strahlen, als der durch die erste Platte durchgegangene, und findet sofort in derselben Weise der Durchgang durch eine 3te, 4te, 5te Platte u. s. w. Statt, so besteht endlich der aus der letzten von etwa 6 bis 10 übereinander liegenden Platten austretende Antheil fast ganz aus polarisirtem Lichte; er ist aber nicht, wie jener von der ersten Platte durch Reflexion polarisirte Antheil in der Einfallsebene, sondern in einer auf dieser senkrechten Ebene polarisirt und die letztere Ebene ist auch die Polarisationsebene des aus der 1ten, 2ten, 3ten u. s. w. Platte austretenden Antheils. Es sind demnach die von einer Glasplatte durch Reflexion und die von derselben bei gleicher oder paralleler Einfallsebene durch Brechung polarisirten Strahlen immer entgegengesetzt polarisirt, so daß, wenn man sie in der nämlichen Ebene, einmal die ersteren, das andere Mal die letzteren auf eine analysirende Glasplatte unter deren Polarisationswinkel auffallen läßt, die zwei Stellungen dieser Platte (die Einfallsebenen darauf), bei welchen von ihr in dem einen und in dem andern Falle die auffallenden Strahlen nicht reflektirt werden, um 90° von einander verschieden sind. . . . . (171)

Da, wie uns jetzt klar geworden, ein Bündel parallel übereinander liegender Glasplatten auf das Licht bei dessen Transmission rücksichtlich der Polarisirung ganz eben so wirkt, wie eine einzelne Glasplatte bei der Reflexion in einer zur Transmissionsebene senkrechten Ebene; so kann man an dem in Fig. 691 dargestellten, oder jedem andern Polarisationsapparate als Analyseur anstatt der schwarzen undurchsichtigen Glasplatte auch einen solchen Bündel weißer durchsichtiger Glasplatten substituiren, zu welchem Ende an der Stelle des die besagte schwarze Glasplatte **E** tragenden Ringes **C** ein ähnlicher Ring, der einen das Plattenbündel enthaltenden Rahmen trägt (**R** Fig. 691), in den Ring **B** eingesetzt wird. Offenbar muß beim Durchsehen durch das Plattenbündel das Gesichtsfeld dann völlig dunkel erscheinen, wenn die Einfallsebenen der polarisirten (vom Polariseur kommenden) Strahlen auf dem Plattenbündel mit deren Polarisationsebene parallel sind; hingegen muß es am hellsten sein, wenn die besagten Einfallsebenen und die Polarisationsebene gegen einander einen rechten Winkel bilden. Es versteht sich nun von selbst, daß das in Rede stehende Plattenbündel bei Polarisationsapparaten auch als (durch Transmission wirkender) Polariseur dienen könne und daß dann bei jener gegenseitigen Lage der Polarisationsebene der polarisirten

Strahlen und der Ebenen, in welchen diese auf dem Analyseur einfallen, wo in dem zuletzt betrachteten Falle die größte Dunkelheit herrschte, jetzt die größte Helligkeit sich zeigen müsse und umgekehrt. Sehr leicht lassen sich alle diese Abänderungen und Versuche auch an dem in der früheren Figur 690 abgebildeten Apparate ausführen.

349. Polarisirung durch doppelte Brechung. Die zwei Büschel, in welche gewöhnliches Licht in irgend einem doppelt brechenden Körper gespalten wird, sind immer beide vollständig und unter rechtem Winkel oder entgegengesetzt polarisirt. . . . . (172)

Um dies nachzuweisen, nehme man einen ziemlich dicken Doppelspathkrystall, bedecke die eine Fläche mit geschwärztem Kartenpapier oder einer andern undurchsichtigen Substanz, worin sich ein mit einer Nadel durchstochenes Loch befindet und halte den Krystall zwischen das Auge und ein Fenster (durch welches direktes Licht eintritt), oder eine intensive Flamme so, daß die bedeckte Fläche vom Auge abgewendet ist und die Verbindungslinie des Auges und des Loches auf dieser Fläche senkrecht steht. Man sieht dann zwei Bilder des Loches, wovon das eine, von der besagten Verbindungslinie nicht abgelenkt erscheinende, von den gewöhnlich, das andere von den ungewöhnlich gebrochenen Strahlen herrührt *), und welche beide gleich hell sind. Fängt man aber die aus dem Doppelspathe austretenden zwei Strahlenbüschel mit einer geschwärzten, gegen die frühere Verbindungslinie des Loches und des Auges um 35° 25′ geneigte Glasplatte auf und dreht dieselbe um diese Verbindungslinie als Axe; so sieht letzteres, vor der Glasplatte der Art angebracht, daß es die besagten Büschel nur durch Reflexion von derselben empfangen kann, bald das eine, bald das andere der beiden Bilder allmälig verschwinden und wieder erscheinen. Es entzieht sich demnach sowohl das gewöhnlich als das ungewöhnlich gebrochene Büschel der Reflexion, jedes ist also polarisirt; ersteres thut dies bei jener Stellung des Glases, wo seine Einfallsebene auf diesem mit dem Hauptschnitte des Doppelspathes einen rechten Winkel bildet und ist daher in der Ebene dieses Hauptschnittes polarisirt, letzteres Büschel hingegen wird nicht reflektirt, wenn die Stellung des Glases von der vorigen um 90° verschieden, mithin die besagte Einfallsebene dem Hauptschnitte des Krystalls parallel ist; dieses Büschel ist also in einer auf dem Hauptschnitte senkrechten Ebene und beide Büschel sind daher unter rechtem Winkel oder entgegengesetzt polarisirt. Daß zur Anstellung des beschriebenen Versuches wieder die in Fig. 690 dargestellte Vorrichtung gut dienen könne und zu diesem Ende der Doppelspath die Stelle einer der zwei Platten **C, E** einzunehmen habe, bringt sich von selbst auf. Uebrigens zeigen sich die in Rede stehenden Erscheinungen viel auffallender, wenn man anstatt eines Doppelspathrhomboides ein Prisma (am besten ein achromatisirtes) aus Doppelspath anwendet, weil dieses bei hinreichend großem brechenden Winkel die beiden durch doppelte Brechung entstehenden Strahlenbüschel so weit von einander trennt, daß jedes nach dem Austritte aus dem Prisma einzeln für sich auf die schwarze Glasplatte geleitet und untersucht werden kann.

Wir wollen nun (für spätere) Zweck hier gleich untersuchen, was mit einem bereits polarisirten Strahle in einem doppelt brechenden Körper vorgeht. Zu diesem

---

*) Daß dem so sei, erhellt bei Betrachtung der früheren Figur 689. Von dem senkrecht auf der Doppelspathfläche c d und in der Verbindungslinie $s o_1$ des Auges o_1 mit dem leuchtenden Punkte s einfallenden Strahl sk′ empfängt nämlich das Auge den gewöhnlich gebrochenen Antheil (der also ungebrochen durchgeht) nach der Richtung $k' o_1$ und von einem andern, schief auffallenden Strahle z. B. sn den ungewöhnlich gebrochenen n l nach der Richtung $l o_1$, so daß es das eine (das gewöhnliche) Bild von s in s selbst und das zweite (das ungewöhnliche) s_3 in der verlängerten Richtung von o_1 l sieht.

Ende leite man durch Reflexion (vom Polariseur eines Polarisationsinstrumentes) polarisirtes Licht auf die in vorher beschriebener Weise bedeckte Fläche eines Doppelspathes. Es zeigen sich dann im Allgemeinen zwei ungleich lichtstarke Bilder des mit der Nadel ins Kartenpapier eingestochenen Loches, und wenn man den Doppelspath in der Ebene der bedeckten Fläche dreht, so ändern die Bilder fortwährend ihre relative Helligkeit, indem das eine in dieser Beziehung bis zu einem Maximum steigt, während das andere völlig verschwindet und eben so umgekehrt. Ist die Hauptschnittsebene des Krystalls der Polarisationsebene der dem letzteren zugeleiteten Strahlen parallel, so zeigt das gewöhnliche (von den gewöhnlich gebrochenen Strahlen herkommende) Bild das besagte Maximum, das ungewöhnliche aber ist verschwunden, und das Umgekehrte findet Statt, wenn beide Ebenen einen rechten Winkel mit einander machen. Es ist auch bei diesem Versuche ein Prisma aus Doppelspath einem Doppelspathrhomboid vorzuziehen und dasselbe dann, während man hindurch das polarisirte Bild einer Flamme betrachtet, langsam um eine seinen brechenden Winkel halbirende Ebene herumzudrehen.

Aus diesen Ergebnissen, die in Wesenheit bei allen nach Art des Kalkspathes doppelt brechenden Substanzen die nämlichen sind, folgt das Gesetz: Fällt ein polarisirter Strahl auf einen doppelt brechenden einaxigen Körper so auf, daß seine Polarisationsebene dem Hauptschnitte des letzteren Körpers parallel oder auf demselben senkrecht ist, so erleidet er in diesem keine Spaltung, sondern wird im ersteren Falle bloß gebrochen, so daß er nur das gewöhnliche Bild erzeugt, im letzteren Falle hingegen erfährt er einzig und allein die ungewöhnliche Brechung, geht also gleichsam ganz ins ungewöhnliche Bild über. Bei allen andern gegenseitigen Lagen beider Ebenen (der Polarisationsebene und des Hauptschnittes) findet eine Spaltung Statt (und zwar immer in ungleich intensive Theile, den einzigen Fall ausgenommen, daß Polarisationsebene und Hauptschnitt einen Winkel von 45° einschließen) . . . . (173)

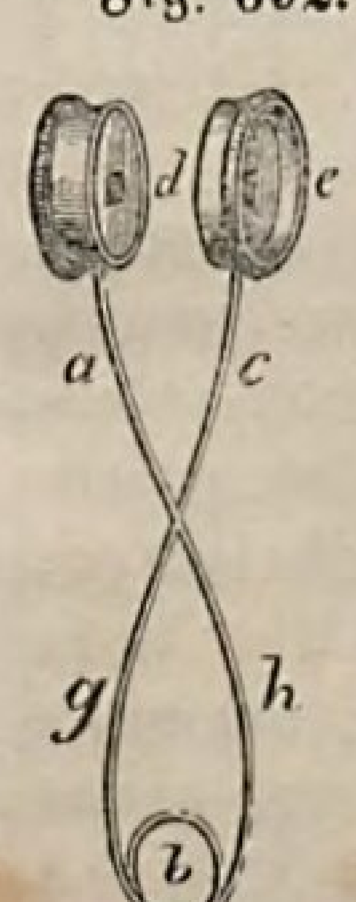
Die nun außer Zweifel gestellten Thatsachen, nämlich: daß die zwei Theile des doppelt gebrochenen Strahles entgegengesetzt und zwar der eine in der Ebene des Hauptschnittes und der andere in einer gegen diesen senkrechten Ebene polarisirt sind (172) und dann das eben unter (173) ausgesprochene Gesetz machen es möglich, sich mittelst passender doppelt brechender Körper Licht zu verschaffen, das in einer bestimmten Ebene polarisirt ist, ferner diese Körper auch zur Untersuchung bereits polarisirten Lichtes (als Analyseur) anzuwenden und so ganz einfache und bequeme Vorrichtungen zu Stande zu bringen, welche in den meisten (größtentheils erst im Folgenden zur Betrachtung kommenden) Fällen ein eigentliches Polarisationsinstrument (wie es auf S. 778 beschrieben wurde) ganz entbehrlich machen. Es sind dies vorzüglich: 1. Turmalinplättchen und 2. die sogenannten Nicol'schen (von Nicol erdachten) Prismen.

Schneidet man aus einem Turmalinkrystalle (Turmalin krystallisirt in langen Prismen) eine mäßig und gleichförmig (überall etwa $^1/_{20}$ Zoll) dicke Platte heraus, deren Seitenflächen der krystallographischen Axe des Prismas parallel sind, so absorbirt dieselbe von jedem auf sie auffallenden Strahle den gewöhnlich gebrochenen, in der Richtung der Axe polarisirten Theil und läßt den ungewöhnlich gebrochenen, in einer gegen die Axe senkrechten Ebene polarisirten, durch. [Aber nicht alle Turmaline besitzen diese Eigenschaft in gleich vollkommenem Grade; am vollkommensten kommt sie den haar- oder rothbraunen, im geringeren Grade den grünlich-braunen und am unvollkommensten den grünen, gelben und blauen zu ... (†).] Man sieht daher durch eine solche Platte, wenn sie polirte Flächen hat, Gegenstände, die ihr gewöhnliches (unpolarisirtes) Licht zusenden, nach allen Richtungen hin wie durch ein gefärbtes Glas; hat ferner an den Theilen des auffallenden gewöhnlichen Lichtes, welche durchgehen, Strahlen, die in einer bekannten Ebene

(nämlich senkrecht gegen die Krystallaxe) polarisirt sind und wie die vom Polariseur eines Polarisationsinstrumentes kommenden Strahlen verwendet werden können.

Leitet man die aus der Turmalinplatte austretenden Strahlen auf eine zweite solche Platte, deren Axe jener der ersten parallel ist; so werden sie, da ihre Polarisationsebene dann mit der Axe der zweiten Platte einen rechten Winkel macht, in dieser gemäß (173) alle nur ungewöhnlich gebrochen, gehen daher durch, und man sieht durch beide Platten so hell, als es überhaupt die Farbe derselben erlaubt, die Gegenstände, von welchen das Licht auf die erste Platte gelangt. Stellt man aber beide Turmalinplatten gegen einander so, daß ihre Axen sich rechtwinklig kreuzen, wo dann die Polarisationsebene der aus der ersten Platte austretenden Strahlen mit der Axe der zweiten parallel ist; so erfahren sie, wieder gemäß (173), in der zweiten Platte alle bloß die gewöhnliche Brechung, werden daher von dieser Platte nicht durchgelassen, sondern absorbirt, und beide Platten erscheinen ganz oder (wegen der oben unter (†) erwähnten Unvollkommenheit) mindestens nahe undurchsichtig. Von der ersten Stellung der Platten (wo ihre Axen parallel bis zu jener, wo sie gegeneinander rechtwinklig sind) nimmt die Helligkeit der besagten Gegenstände allmälig ab und umgekehrt. Demnach kann eine Turmalinplatte von der in Rede stehenden Beschaffenheit zur Untersuchung dienen, ob Lichtstrahlen polarisirt sind oder nicht, und, im ersteren Falle, in welcher Ebene sie polarisirt sind. Läßt man nämlich die fraglichen Strahlen auf eine solche Platte fallen, und sie gehen bei jeder Stellung der Platte und wenn man letztere in ihrer Ebene dreht, ohne Aenderung der Intensität durch, so sind sie nicht polarisirt; findet aber bei dieser Drehung eine Intensitätsänderung statt, so daß bei einer Stellung der Platte die Intensität des durchgehenden Lichtes ein Maximum und bei einer andern (gegen die vorige senkrechten) ein Minimum ist, so ist das fragliche Licht polarisirt, und offenbar in einer Ebene, die mit der Axe der Platte bei der Stellung, wo sich das Minimum zeigt, parallel ist. Uebrigens wirken, wie die eben angestellten Betrachtungen zeigen, die zwei vereinigten Turmalinplatten, wenn ihre Axen parallel sind oder sich rechtwinklig kreuzen, gerade so auf das Licht, wie an dem Polarisationsinstrumente in Fig. 691 der Polariseur **P** und ein Bündel über einander liegender Glasplatten, als Analyseur angewendet, wenn die Reflexionsebene von ersterem und die Einfallsebene auf letzterem gegen einander senkrecht oder parallel sind; es können daher die in Rede stehenden zwei Turmalinplatten für sich allein als Polarisationsinstrument dienen und werden dann, um sie zu diesem Ende bequem handhaben zu können, gewöhnlich in einer Art Zange eingesetzt, welche (Fig. 692) aus einem federnden Drahte a h b g c besteht, der an den Enden Ringe d, e hat, in deren jedem eine ränderirte Hülse sich drehen läßt, in welcher eine der zwei besagten Turmalinplatten festgemacht (gefaßt) ist. Man bezeichnet die ganze Vorrichtung kurz mit der Benennung Turmalinzange. Die Federkraft des Drahtes drückt die Hülsen stets gegen einander, so daß sie, wenn nicht durch Gegeneinanderdrücken der Drahtstücke g, h mittelst der Finger ihre Trennung bewirkt wird, in gegenseitiger Berührung stehen, und zwischen sie gebrachte kleinere Gegenstände (kleine Krystalle, Plättchen krystallisirter Körper u. s. w.), die polarisirtem Lichte ausgesetzt werden sollen, eingeklemmt festhalten *).

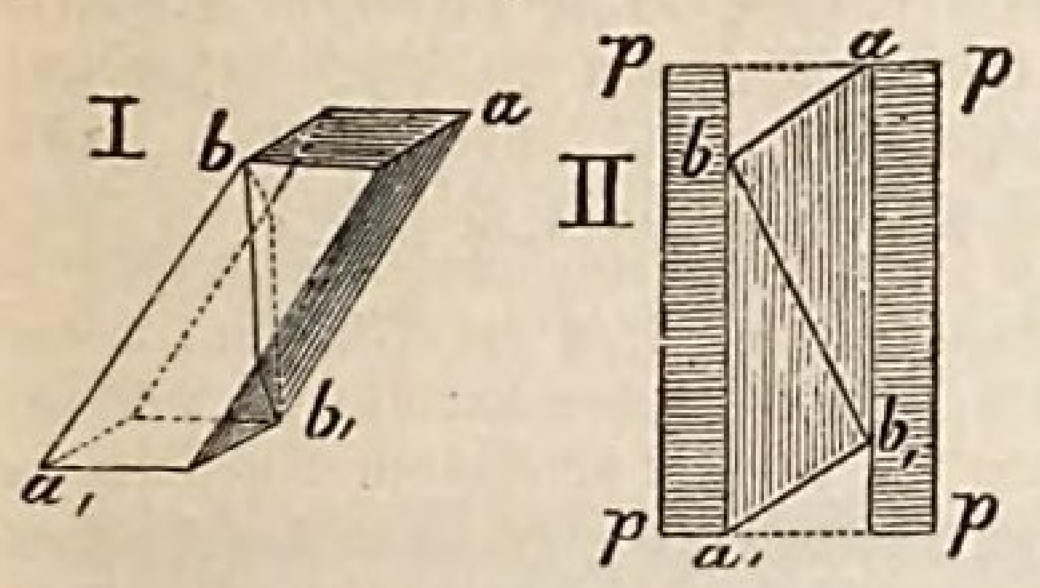
Fig. 692.



*) Aus dem Vorstehenden ergibt sich auch zugleich das Mittel, bei den beschriebenen Turmalinplatten, an denen zu Folge Schneidens und Polirens gewöhnlich keine natürliche Krystallfläche, nach welcher sich die Richtung der Axe erkennen ließe, vorhanden ist, diese Richtung zu bestimmen. Man bringt nämlich die betreffende Platte als Analyseur ins Polarisationsinstrument am besten so, daß die

Die Einrichtung eines Nicol'schen Prismas wird mittelst der Fig. 693 klar werden, welche dasselbe bei **I** in ganzer Gestalt und bei **II** im Durchschnitte und immer in natürlicher Größe darstellt. $a b a_1 b_1$ ist der Hauptschnitt eines Rhomboeders, welches aus einem Kalkspathkrystalle durch entsprechendes Spalten und Schleifen in den abgebildeten Dimensionen erhalten wird. Die Längenkanten $a b_1$ und $b a_1$ sind zwei der natürlichen stumpfen Kanten des Krystalls und die durch Schleifen erzeugten Endflächen $a b$ und $a_1 b_1$ sind gegen diese Kanten unter 68° geneigt, während die natürlichen Endflächen mit denselben Kanten Winkel von etwa 71° bilden. Das so zu Stande gekommene Rhomboeder *) ist in der Ebene $b b_1$ senkrecht gegen den Hauptschnitt $a b a_1 b_1$ und gegen die beiden Endflächen $a b$ und $a_1 b_1$ durchschnitten und, nachdem beide Schnittflächen polirt worden, wieder mit Canadabalsam zusammengekittet **). Das Ganze steckt in einem Korke pppp, welcher der Länge nach durchschnitten und nach Einpassung des Rhomboeders wieder zusammengekittet worden ist und gewöhnlich die Form eines Cylinders hat, um in eine Metallröhre eingeschoben werden zu können.

Fig. 693.



Treten nun in das Rhomboeder durch eine der Endflächen $a b$ oder $a_1 b_1$ und in der Richtung der Länge desselben Strahlen ein, so erfährt jeder die doppelte Brechung; die gewöhnlich gebrochenen Theile werden aber, da die Balsamschichte auf sie wie ein weniger brechendes Mittel einwirkt, sie überdies in sehr schiefer Richtung an dieselbe treffen, von dieser Schichte total reflektirt, also in die zweite prismatische Hälfte des Rhomboeders nicht eindringen, mithin durch dieses nicht durchgehen gelassen, während die ungewöhnlich gebrochenen Strahlen, auf welche die Balsamschichte als stärker brechendes Mittel wirkt, diese Schichte und so fort auch die zweite Hälfte des Nicol'schen Prismas durchdringen. Da nun diese Strahlen in einer gegen den Hauptschnitt des Doppelspathes senkrechten Ebene polarisirt sind, so verhält sich ein Nicol'sches Prisma in Bezug auf das seiner Länge nach durchgehende Licht offenbar ganz wie eine zur Krystallaxe parallel geschnittene Turmalinplatte und kann zu denselben vorbesprochenen Zwecken, wie diese, und auch aus, der Wesenheit nach, ganz gleichen Gründen, als Polariseur, Analyseur, und, mit einem zweiten solchen Prisma combinirt, als Polarisationsinstrument angewendet werden; gewährt überdies im Vergleich mit einer Turmalinplatte noch den großen Vorzug, daß es von der den Turmalinen eigenen, die Reinheit der Erscheinungen oft sehr beeinträchtigenden Färbung ganz frei ist.

---

vom Polariseur kommenden Strahlen dieselbe senkrecht treffen, und dreht sie nachher in ihrer Ebene herum, bis das von ihr durchgelassene Licht ein Minimum beträgt. Die fragliche Axe ist dann der Polarisationsebene der besagten Strahlen (der Reflexionsebene vom Polariseur, d. i. einer durch den Nullpunkt der Theilung gehenden und auf der Turmalinfläche senkrechten Ebene) parallel; denn es werden, wie das besagte Minimum beweist, die auf den Turmalin auffallenden polarisirten Strahlen absorbirt, erfahren daher in demselben alle die gewöhnliche Brechung und sind somit in der Richtung der Axe polarisirt, oder was dasselbe ist, die Axe ist der Reflexionsebene vom Polariseur parallel.

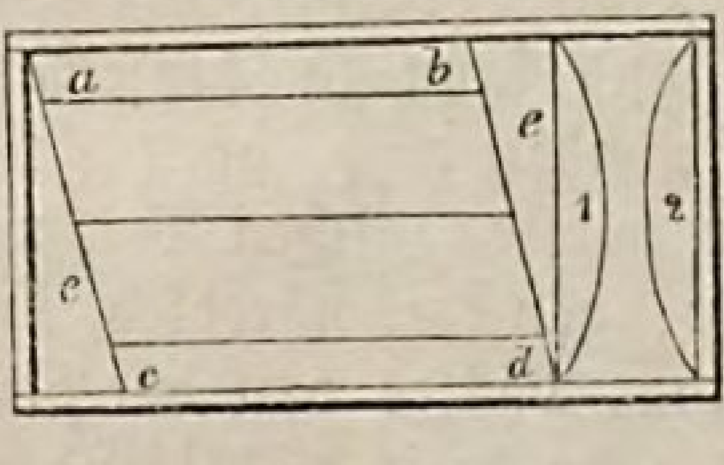
*) Streng genommen ist es kein Rhomboeder, sondern eine schiefe rhombische Säule, ein Rhomboid, da die Flächen an den **3** Kanten eines stumpfen Eckes ungleiche Winkel machen.

**) Die beiden prismatischen Hälften $a b b_1$ und $b_1 a_1 b$ des Rhomboeders können, auch jede für sich, aus zwei verschiedenen Stücken eines oder zweier Krystall-Individuen in die angegebene Gestalt geschliffen und nachher zusammengekittet werden. Es ist sogar diese Art, Nicol'sche Prismen zu verfertigen, leichter ausführbar, als die vorige.

Uebrigens gestatten die besagten (zur Axe parallel geschnittenen) Turmalinplättchen und die Nicol'schen Prismen auch noch manche andere vortheilhafte Anwendung. So kann man mittelst derselben sehr leicht erforschen, ob ein Körper das Licht doppelt bricht oder nicht. Sind nämlich zwei solche Plättchen der Art übereinander gelegt, daß ihre Axen sich rechtwinklig kreuzen, so erscheinen sie ganz oder wenigstens nahe [(+) S. 783] undurchsichtig, so lange sich zwischen denselben nur Luft oder ein anderer das Licht einfach brechender Körper befindet, (weil die aus dem ersten Plättchen austretenden Strahlen in einer zur Axe des zweiten Plättchens parallelen Ebene polarisirt sind, daher in diesem bloß die gewöhnliche Brechung erleiden und absorbirt werden, eine zwischen den Plättchen befindliche einfach brechende Substanz aber an diesen Polarisationszustande nichts ändern kann). Wird hingegen zwischen die zwei Plättchen eine doppelt brechende Substanz gebracht, so wird unter allen möglichen Lagen, die man ihr daselbst geben kann, leicht eine ausfindig zu machen sein, in welcher der Hauptschnitt der betreffenden Substanz zu den Axen der Plättchen weder parallel noch senkrecht ist, und bei einer solchen Lage müssen die Plättchen durchsichtig werden, weil jeder aus dem ersten Plättchen austretende Strahl in der doppelt brechenden Substanz in zwei Theile gespalten und jeder dieser Theile im zweiten Plättchen wieder doppelt gebrochen wird, mithin vier Lichtbüschel entstehen, wovon im zweiten Plättchen nur zwei (die gewöhnlich gebrochenen) absorbirt, die andern (die ungewöhnlich gebrochenen) hingegen durchgelassen werden. Daß und wie sich zu dem beschriebenen Zweck den Turmalinplättchen zwei Nicol'sche Prismen substituiren lassen, ist nach dem Vorhergehenden für sich klar. Ebenso interessant als wichtig (für Schiffer, Taucher u. s. w.) ist ferner die von Arago herrührende Anwendung eines Turmalinplättchens oder eines Nicol'schen Prismas, um in die Tiefe des Wassers (die unter Wasser befindlichen Gegenstände deutlicher) zu sehen. Das dem Auge von der Oberfläche des Wassers durch Reflexion zugesendete Licht ist nämlich immer so vielmal intensiver, als das aus dem Wasser auch nur von geringer Tiefe herkommende, daß der Eindruck des letzteren gegen jenen des ersteren fast ganz verschwindet, unser Blick also nicht weit unter die Wasseroberfläche reicht. Sieht man aber auf diese Oberfläche nach einer gegen sie um nahe 37° geneigten Richtung hin, so ist das von ihr reflektirte, dem Auge zukommende Licht in der Reflexionsebene polarisirt, wird, wenn man ein Turmalinplättchen oder ein Nicol'sches Prisma in gehöriger Stellung vor's Auge bringt, im ersteren (dem Turmalinplättchen) absorbirt und im letzteren (dem Nicol'schen Prisma) durch totale Reflexion nach der Seite hin abgelenkt, so daß es nicht ins Auge gelangen kann, dieses daher nur allein das aus dem Wasser hervortretende Licht empfängt.

Als Analyseur kann auch sehr gut Haidinger's dichroskopische Loupe dienen. Es ist dies eine etwa 3''' Dicke und 1'' lange Theilungsgestalt (S. 58) von Doppelspath (abcd Fig. 694), die an jedem Ende ein Glasprisma e mit einem Winkel von 18° angekittet und an der einen Seite unmittelbar hinter dem Glasprisma eine gewöhnliche (aus den Linsen 1, 2 bestehende) Loupe angesetzt hat. Das Ganze ist in einer kurzen Röhre enthalten, die an jedem sonst geschlossenen Ende mit einer kleinen auf der Seite der Loupe mit einer runden, auf der andern Seite mit einer quadratischen Oeffnung versehen ist. Schaut man nun durch die runde Oeffnung und mithin auch durch die Loupe, so sieht man zwei am Rande sich berührende Bilder der quadratischen Oeffnung. Ist das durch diese letztere Oeffnung eintretende Licht polarisirt, so verschwindet, bei entsprechend großer Drehung des Instrumentchens um seine Axe, das eine der besagten Bilder. Warum das Instrument dichroskopische Loupe heißt, werden wir an einem späteren Orte erfahren.

Fig. 694.

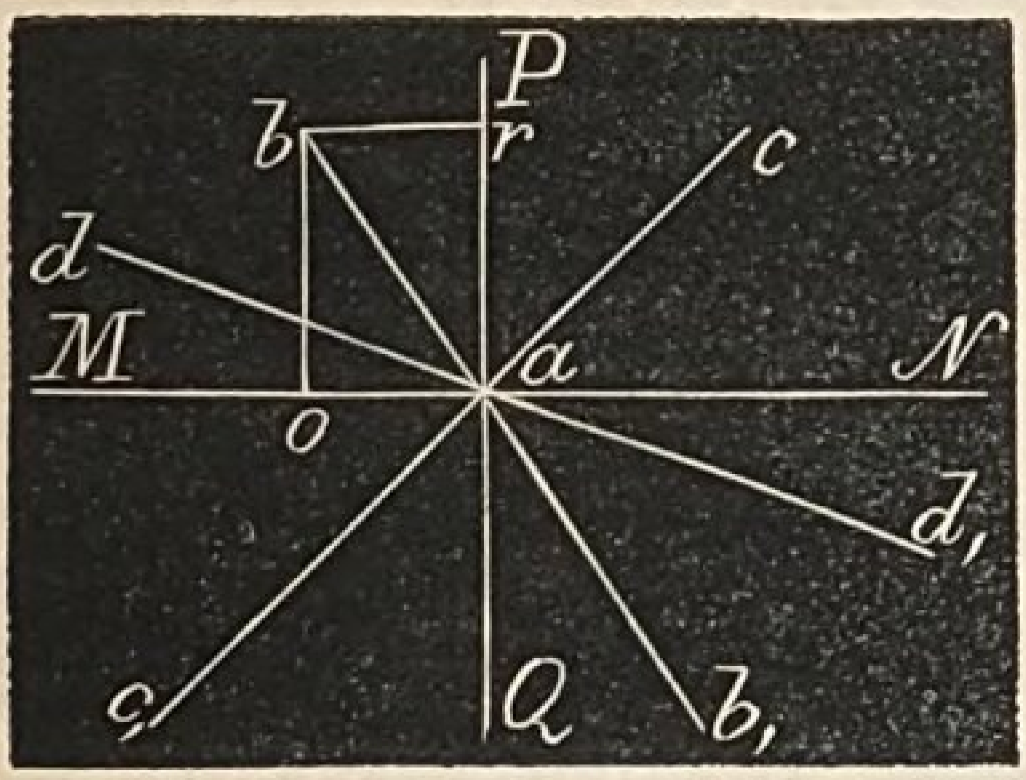


350. Erklärung der Polarisation nach der Vibrationshypothese. Wir wissen schon aus **282** her, daß die der Fortpflanzung des Lichtes zu Grunde liegenden Schwingungen der Aethertheilchen senkrecht auf die Richtung dieser Fortpflanzung stattfinden. Sind nun die Schwingungsbahnen der einzelnen in der Richtung eines Lichtstrahl nach einander folgenden Aethertheilchen geradlinig und liegen sie in allen möglichen durch den Lichtstrahl seiner Länge nach denkbaren Ebenen (indem die Schwingungen der Aethertheilchen in schnellem und regelmäßigem Wechsel in alle diese Ebenen übergehen); so ist keine Seite des Strahles vor einer andern ausgezeichnet und derselbe ist ein gemeiner oder gewöhnlicher Lichtstrahl. Befinden sich hingegen die besagten Bahnen alle in einer und derselben längst dem Strahle gehenden Ebene, so ist der Strahl vollständig polari-

sirt, diese Ebene selbst heißt die *Schwingungsebene* und eine gegen sie senkrechte, aber ebenfalls dem Strahle entlang gehende Ebene ist die sogenannte *Polarisationsebene*. Bei der Polarisation, wie sie im Vorhergehenden betrachtet wurde, hat man sich die Schwingungsbahnen ebenfalls geradlinig (daher als gerade, auf der Polarisationsebene senkrechte Linien) zu denken, weswegen diese Polarisation auch die *geradlinige* Polarisation genannt wird, zum Unterschiede von der *kreisförmigen* oder *circularen*, und von der *elliptischen* Polarisation, von welchen erst später gehandelt werden wird und denen Schwingungen der Aethertheilchen in kreisförmigen und elliptischen Bahnen, deren Ebenen senkrecht gegen die Richtung des Strahles sind, zu Grunde liegen. . . . (174)

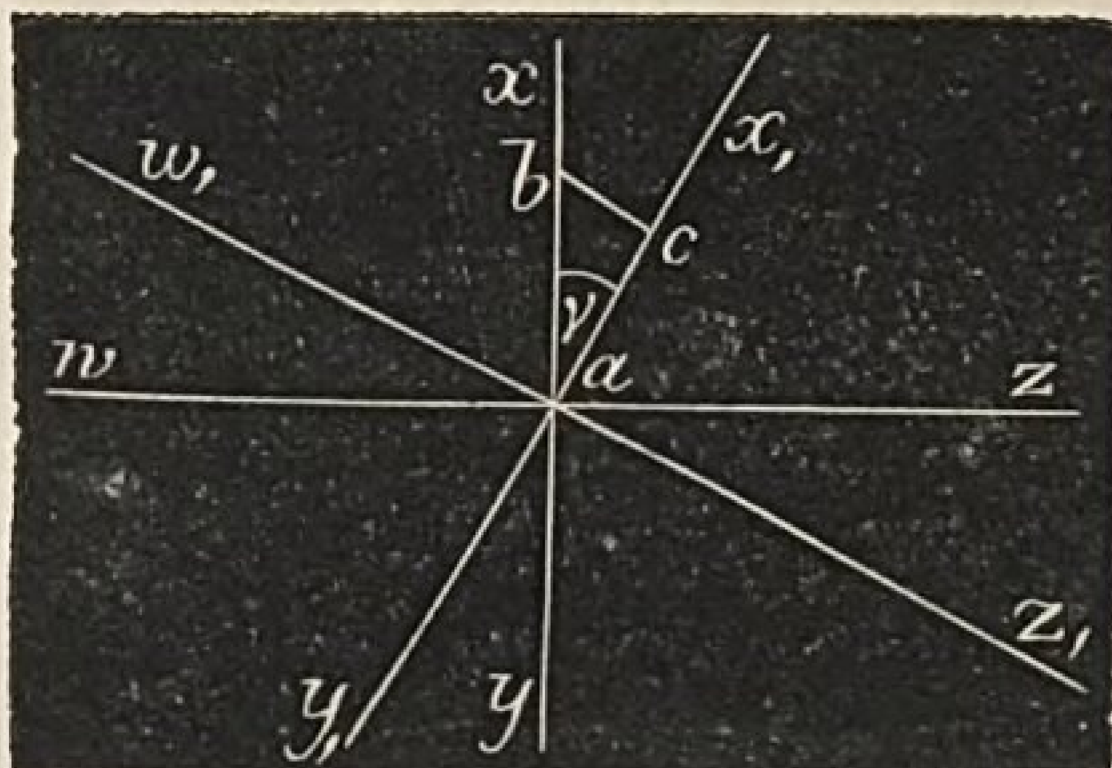
Denkt man sich nun unter a in Fig. 695 einen Punkt, in welchem ein gemeiner Strahl die Ebene des Papieres senkrecht trifft, so daß die in dieser Ebene gezogenen Linien bb_1, cc_1, dd_1 u. s. w. einige von allen den möglichen Bahnen vorstellen, in welchen die den Strahl fortpflanzenden Aethertheilchen rings um ihn herum geradlinig hin und her schwingen, und stellen **MN** und **PQ** zwei längst dem Strahle gehende und auf einander senkrechte Ebenen vor; so begreift man leicht, daß alle diese Schwingungen, da jede derselben (z. B. **ab**) sich in zwei Componenten (wie **ao** und **ar**) zerlegen läßt, wovon die eine in die Ebene **MN**, die andere in die Ebene **PQ** fällt, als aus zwei Systemen bestehend angesehen werden können, wovon das eine die Ebene **MN**, das andere die Ebene **PQ** zur Schwingungsebene hat, und das sich daher ein gewöhnlicher Lichtstrahl als aus zwei unter rechtem Winkel oder entgegengesetzt polarisirten Strahlen zusammengesetzt betrachten lasse. In einer solchen Zerlegung, nämlich daß aus jeder nach irgend einer Richtung stattfindenden Schwingung zwei gegen einander senkrechte, in bestimmten Ebenen vor sich gehende Schwingungen werden, besteht, der Vibrationstheorie gemäß, im Allgemeinen der Act der Polarisirung eines gemeinen Lichtstrahles, und es geschieht diese Zerlegung ganz nach statischen Gesetzen. Bei einem durch Reflexion polarisirten Strahle ist die Schwingungsebene senkrecht gegen die Reflexionsebene. Erfährt ein solcher Strahl von einer andern Fläche, auf die er unter ihrem Polarisationswinkel auffällt, eine zweite Zurückwerfung, so beträgt nach dieser die Schwingungsweite oder die Schwingungsintensität cos. γ, wenn diese Intensität nach erfolgter Polarisirung (nach der ersten Zurückwerfung) $= 1$ und der Winkel, welchen beide Reflexionsebenen mit einander machen, $= \gamma$ ist . . . (†). Es hat daher die Schwingungsweite und, da mit dem Quadrate derselben die Lichtstärke in geradem Verhältnisse steht, auch diese für $\gamma = 0$ den größten und für $\gamma = 90^0$ den kleinsten Werth, weswegen am Polarisationsinstrumente (Fig. 691) die Intensität des vom Analyseur **E** reflectirten Lichtes am größten ist, wenn die zwei Ebenen, in welchen an diesem und am Polariseur die Reflexion erfolgt, einander parallel sind (der Inder **i** auf 0^0 oder 180^0 steht), hingegen = Null wird, wenn die besagten zwei Reflexionsebenen auf einander senkrecht stehen (der Inder **i** mit dem Theilstriche 90^0 oder 270^0 zusammenfällt), und von jeder der zwei ersteren Positionen gegen eine der zwei letzteren hin zu-, in umgekehrter Richtung aber immer abnimmt. Das Gesetz der Aenderung, welche bekanntlich in der Intensität des reflektirten Antheils eines polarisirten Lichtes eintritt, wenn dieses unter einem andern als unter dem Polarisationswinkel auf die reflektirende Fläche auffällt (und welche Aenderung daher kommt, daß sich der Zurückwerfung von dieser Fläche je nach dem Unterschiede des Einfallswinkels auf derselben vom Polarisationswinkel

Fig. 695.



ein größerer oder kleinerer Theil des auffallenden Lichtes entzieht), hat Fresnel ebenfalls durch einen Ausdruck dargestellt, der aber weit complicirter ist, als die Formel unter (†). Um die Richtigkeit dieser letzteren einzusehen, denke man sich einen senkrecht gegen die Ebene des Papiers durch den Punkt a (Fig. 696) gehenden, durch Reflexion polarisirten Lichtstrahl, dessen Schwingungsebene xy und dessen Reflexionsebene (Polarisationsebene) daher wz ist. Stellt nun die Linie ab die Schwingungsintensität d. i. die größte Ausweichung eines Aethertheilchens aus seiner Ruhelage in der Schwingungsebene vor und man läßt den Strahl auf eine andere reflektirende (als Analyseur dienende) Fläche unter ihrem Polarisationswinkel auffallen, jedoch bei solcher Stellung dieser Fläche, daß die Ebene ($w_1 z_1$) seiner Reflexion mit seiner Polarisationsebene (wz), mithin auch seine jetzige Schwingungsebene ($x_1 y_1$) mit der vorigen (xy) einen Winkel γ macht; so wird die Intensität, womit die Schwingungen in der Ebene $x_1 y_1$ erfolgen, durch die Linie ac vorgestellt, welche durch Zerlegung der Intensität ab in eine mit $x_1 y_1$ parallele und eine mit dieser rechtwinklige Componente bc erhalten wird, und ac ist $=$ ab cos. γ oder, wenn man ab $= 1$ setzt, $=$ cos. γ.

Fig. 696.



Ein ganz gleiches Räsonnement gilt offenbar für die durch einfache Brechung polarisirten Strahlen, so wie auch in den Fällen, wo der Analyseur anstatt aus einem Spiegel aus durchsichtigem Glase oder aus einer Turmalinplatte besteht; nur ist bei der Polarisation durch Brechung, desgleichen bei Anwendung durchsichtigen Glases als analysirendes Mittel eine der Brechungsebene und beim Turmalin eine der krystallographischen Axe desselben parallele Ebene als Schwingungsebene anzusehen.

Was die Polarisation durch doppelte Brechung anbelangt, so hat sie nach der Vibrationstheorie ihren Grund im Allgemeinen in der in doppelt brechenden Körpern nach verschiedenen Richtungen stattfindenden Ungleichheit der Elasticität des Aethers, welcher Ungleichheit schon oben an einem andern Orte Erwähnung geschah und der zu Folge die Schwingungen eines auf einen einaxigen Krystall auffallenden unpolarisirten Strahles in auf den Hauptschnitt senkrechte und in mit demselben parallele Schwingungen zerlegt werden. Erstere begründen den gewöhnlich und letztere den ungewöhnlich gebrochenen Strahl, und es hat daher nach den früher aufgestellten Begriffen von Polarisationsebene und Schwingungsebene der gewöhnlich gebrochene Strahl zu ersterer (zur Polarisationsebene) den Hauptschnitt und zu letzterer eine auf diesem senkrechte Ebene, und das Umgekehrte ist bei den ungewöhnlich gebrochenen Strahlen der Fall. Ein weiteres Eingehen in die Erklärung der Polarisation nach der Undulationstheorie muß hier unterbleiben, weil dies, geschehe es mit der zum gehörigen Verständniß erforderlichen Gründlichkeit, die Grenzen eines Lehrbuches überhaupt weit überschreiten würde, zumal ganz außer dem Zwecke dieses vorzugsweise für Techniker bestimmten Buches liegt.

351. Interferenz polarisirter Lichtstrahlen. Arago und Fresnel haben die Versuche, wobei zu Folge Interferenz gewöhnlicher Lichtstrahlen Farbenerscheinungen entstehen, mit polarisirtem Lichte angestellt (es geschah dies unter genauer Erfüllung der Grundbedingungen jeder Interferenz, daß nämlich die Strahlen unter sehr spitzigem Winkel zusammentreffen, ferner aus einer und derselben Lichtquelle kommen) und dabei Resultate gefunden, welche folgende Gesetze feststellen: 1. Nach einerlei Richtung, d. i. in einer und derselben

Ebene oder in unter einander parallelen Ebenen polarisirte Strahlen interferiren wie unpolarisirte Strahlen (erzeugen die nämlichen Interferenz-Erscheinungen [Verstärkung, Vernichtung, Farben], wie unter gleichen Umständen interferirende unpolarisirte Lichtstrahlen). 2. Strahlen, die entgegengesetzt, d. i. in auf einander senkrechten Ebenen polarisirt sind, interferiren nicht, d. h. bringen bei ihrem Zusammentreffen nicht die Interferenz-Erscheinungen hervor, wie unpolarisirte oder nach einerlei Richtung polarisirte Strahlen, wenn sie unter gleichen Umständen unter den Bedingungen der Interferenz zusammentreffen. 3. Strahlen, die ursprünglich entgegengesetzt polarisirt wurden, können auch, nachdem sie auf einerlei Polarisationsebene gebracht sind, nicht interferiren. Sind aber Strahlen ursprünglich nach einerlei Richtung polarisirt, nachher auf entgegengesetzte Polarisationsrichtungen gebracht und endlich wieder in einerlei Polarisationsebene zurückgeführt worden, so interferiren sie d. h. wirken bei ihrem Zusammentreffen unter Erzeugung der Interferenzerscheinungen auf einander ein. 4. Entstehen durch doppelte Brechung polarisirter Strahlen zwei Lichtbündel, so daß die Strahlen jedes derselben nach einerlei Richtung polarisirt sind, die Polarisationsrichtung des einen Bündels aber jener des andern entgegengesetzt (die gemeinschaftliche Polarisationsebene des einen Bündels gegen jene des zweiten rechtwinkelig) ist, und es kommen die Strahlen jedes dieser Bündel unter sich zur Interferenz; so ist das Resultat dieser letzteren bei gleichen Wegdifferenzen für das eine Bündel verschieden von jenem für das andere. Während die Strahlen des einen Bündels bei der Interferenz sich verstärken, schwächen oder vertilgen sich jene des andern und umgekehrt; und die Farbe, welche aus der Interferenz der Strahlen des einen Bündels resultirt, ist immer complementär zu jener, die entsteht, wenn die Strahlen des zweiten Bündels unter einander interferiren.

Diese Gesetze finden in der Vibrationshypothese ihre volle Erklärung; das 1. und 2. Gesetz sind sogar eine nothwendige Folge aus dieser Hypothese, ja das 2. Gesetz führte zuerst Fresnel zur Annahme, daß die den Lichterscheinungen zu Grunde liegenden Vibrationen senkrecht gegen die Richtung des Strahles erfolgen. Die Interferirbarkeit nach einerlei Richtung polarisirter Strahlen und die Nichtinterferirbarkeit von Strahlen, die entgegengesetzt polarisirt sind, ist zwar aus den im Früheren aufgestellten Grundsätzen der Vibrationshypothese und aus mechanischen Gründen nicht schwer einzusehen (indem man ohne Schwierigkeit bebegreift, daß geradlinige Schwingungen, die, wie sie bei Strahlen von einerlei Polarisationszustand stattfinden, nach derselben Richtung erfolgen, wenn sie zusammentreffen, je nach ihren Schwingungsphasen dabei sich verstärken oder aufheben müssen, daß hingegen bei Schwingungen, die, wie bei entgegengesetzt polarisirten Strahlen, rechtwinkelig gegen einander erfolgen, ein Aufheben nicht möglich ist); vollkommen leicht erklärlich wird sie aber durch die Analogie zwischen Schwingungen der Aethertheilchen eines Strahles und den Querschwingungen der Theile eines gespannten Seiles. Wird dieses nämlich an dem einen Ende durch nach regelmäßigen Zeiträumen erfolgende Schläge o. dgl. in Schwingungen versetzt, so bildet es eine in einer Ebene liegende wellenförmige Curve. Fügt man zu dieser Wellenbewegung noch eine andere gleiche, mit der vorigen in der nämlichen Ebene vor sich gehende hinzu, die aber gegen die erstere genau um eine halbe Welle vor oder zurück ist (um die halbe Schwingungszeit früher oder später anfängt); so leuchtet ein, daß die Bewegung, welche jedes Theilchen vermöge des ersten Wellensystems annehmen würde, in jedem Augenblicke durch die entgegengesetzte Bewegung, die es vermöge des zweiten Systems annehmen sollte, aufgehoben wird, und daher sowohl jedes Theilchen als das ganze Seil in Ruhe bleiben muß. Wird aber das zweite Wellensystem in einer Ebene erzeugt, die auf der Ebene des ersten Systems senkrecht steht, so erhält das Seil die Gestalt einer

Curve doppelter Krümmung, die im Allgemeinen eine elliptische Spirale ist und in die gewöhnliche kreisförmige übergeht, wenn beide Bewegungen um den vierten Theil einer Schwingung oder 90° von einander verschieden sind. In diesem Falle beschreibt das Ende des Seiles fortwährend einen Kreis und diese Bewegung wird von jedem Theilchen des ganzen Seiles nachgeahmt. Daß die durch das Zusammentreffen paralleler Schwingungen entstehende zusammengesetzte Schwingung mit diesen (den parallelen Schwingungen) einerlei Richtung hat, mithin der durch Interferenz entstandene Strahl in der nämlichen Richtung wie die interferirenden Componenten polarisirt ist, versteht sich von selbst.

Zur Erklärung des 4. Gesetzes muß angenommen werden, daß in dem einen der in diesem Gesetze erwähnten, durch doppelte Brechung erzeugten Strahlenbündel eine halbe Undulation verloren gehe.

352. Farben, die doppelt brechende Krystallplatten im polarisirten Lichte zeigen. Unter die schönsten optischen Phänomene gehören unstreitig die lebhaften Farben, welche beim Durchgange polarisirten Lichtes durch transparente Platten doppelt brechender Krystalle zum Vorschein kommen, und welche im Jahre 1811 von Arago und fast gleichzeitig auch von Brewster entdeckt wurden. Diese Farben zeigen sich in gewissen Fällen gleichförmig oder in unregelmäßiger Abwechslung auf der ganzen Platte hin, erscheinen in anderen Fällen als Ringe oder Ringsysteme und sind nach der materiellen Beschaffenheit der betreffenden Platten und nach andern hiervon unabhängigen Umständen außerordentlich mannigfaltig. Wir wollen nun das Wesen und die Gesetzmäßigkeit derselben im Allgemeinen an einigen vorzüglichen Repräsentanten der besagten Krystalle genauer kennen lernen.

Bringt man ein dünnes, jedoch gleichförmig dickes Gypsblättchen (wie man sie, selbst in bedeutender Größe, leicht durch Spaltung des natürlichen krystallisirten Gypses erhält, indem sich dieser vorzüglich nach einer Richtung, nämlich nach der Richtung der Ebene hin, in welcher seine optischen Axen liegen, vollkommen spalten läßt), welches aber höchstens $1/_{20}$ Zoll dick sein darf und in gewöhnlichem Lichte betrachtet völlig farblos und durchsichtig erscheint, zwischen den Polariseur und Analyseur eines Polarisationsapparates, z. B. des schon im Früheren als vorzüglich brauchbar anempfohlenen und in Fig. 691 abgebildeten Nörrenberg'schen Instrumentes; so sieht man das Blättchen mehr oder weniger schön gefärbt. Um das nähere Detail dieser Farbenerscheinung und die Hauptveränderungen, deren sie fähig ist, am kürzesten Wege beobachten zu können, lege man das Blättchen der Art auf das Tischen **H**, daß es von den durch die Platte **P** polarisirten Strahlen senkrecht getroffen wird, gebrauche als Analyseur das Bündel aus Glasplatten, dessen in **345** u. s. w. Erwähnung geschah, stelle ihn gegen die von **P** kommenden Strahlen unter dem Polarisationswinkel und so, daß die Reflexionsebene (die Polarisationsebene) dieser Strahlen mit ihrer Einfallsebene auf dem Analyseur parallel ist. Es erscheint dann das Blättchen sowohl in dem vom Analyseur reflektirten, als in dem von ihm durchgelassenen Lichte gefärbt (oder es kommt gleich Färbung zum Vorschein, wenn man das Blättchen in seiner Ebene, also um eine vertikale Axe, etwas dreht). Die Farbe im letzteren Lichte ist aber zu jener im ersteren complementär. Wird das Blättchen in seiner Ebene um 360° gedreht, so ändert sich zwar nicht die Farbe, wohl aber die Lebhaftigkeit (Intensität) derselben so, daß diese bald zu-, bald abnimmt, die Farbe in vier von einander immer um 90° verschiedenen Stellungen des Blättchens ganz verschwindet und dann dieses im reflektirten Lichte hell, im durchgelassenen hingegen dunkel erscheint . . . (†). Läßt man das farbig erscheinende Blättchen in Ruhe, bringt aber den Analyseur durch Drehung um die vertikale Axe des Polarisationsinstrumentes in eine gegen die vorige rechtwinkelige Stellung, so ist dann

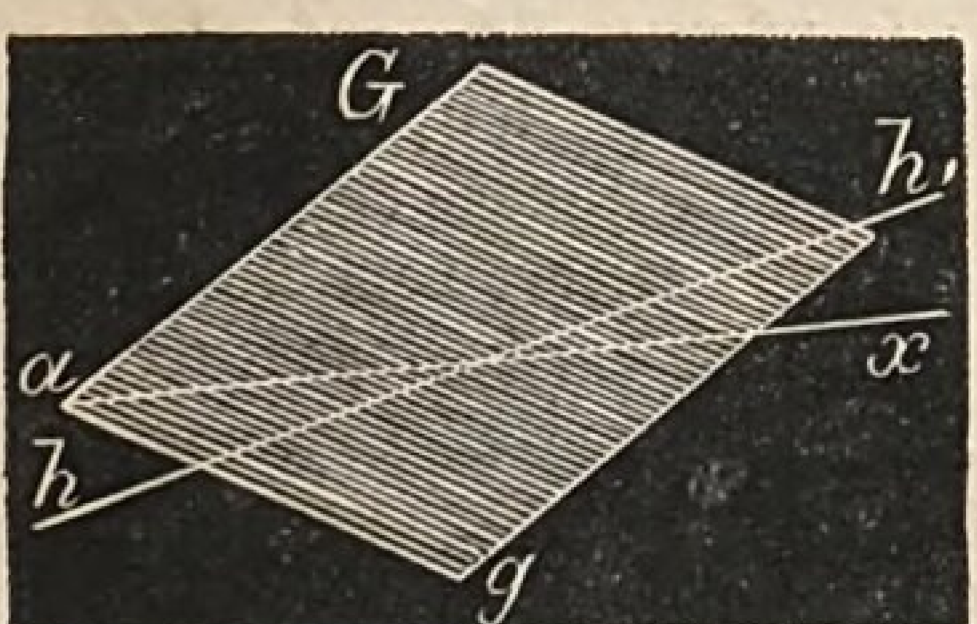
die Farbe des Blättchens die complementäre zur früheren (während dieser Drehung zeigt sich ein allmäliger Uebergang der früheren Farbe in die jetzige) und man sieht nun im reflektirten Lichte die nämliche Farbe, wie bei der vorigen Stellung des Analyseurs im durchgelassenen und umgekehrt. Ist das Gypsblättchen überall gleich dick und an den Oberflächen vollkommen eben, so zeigt es stets in seiner ganzen Ausdehnung die nämliche Farbe, im entgegengesetzten Falle ist es aber an verschiedenen Stellen verschieden gefärbt; zum Beweise, daß seine Farbe unter sonst gleichen Umständen von seiner Dicke abhängt, was am besten durch eine keilförmig geschliffene Gypsplatte dargethan wird, indem an dieser, von ihrer Schneide angefangen, eine eben so regelmäßige Aufeinanderfolge verschiedener Farben als ungleicher Dicken stattfindet. Wegen dieser Abhängigkeit der Farbe von der Dicke des Blättchens ändert sich auch die erstere (die Farbe) mit der Neigung des letzteren (des Blättchens) gegen die einfallenden polarisirten Strahlen, indem mit dieser Neigung, gerade wie wenn das Blättchen dicker geworden wäre, auch der Weg zunimmt, den die Strahlen darin zurückzulegen haben. Aus gleichem Grunde erhält man auch durch entsprechende Nebeneinanderlagerung von Gypsplättchen verschiedener Dicke Gypsflächen, die im polarisirten Lichte die schönsten und regelmäßigsten farbigen Figuren (z. B. eines Schmetterlings, einer Blume in natürlicher Farbenpracht u. s. w.) zeigen.

Um die hierzu dienlichen Gypsblättchen in der besagten Nebeneinanderlagerung zu fixiren, werden sie mittelst Canadabalsam zwischen zwei Glasplatten festgekittet. Ueberhaupt ist ein solches Festkitten für alle zu öfteren Versuchen bestimmten Gypsblättchen anzurathen, weil diese sonst ihrer großen Zerbrechlichkeit wegen bei der, wenn auch noch so behutsamen Handhabung sehr leicht in Trümmer gehen. Wie die Gypsblättchen verhalten sich, was die eben besprochene Färbung im polarisirten Lichte anbelangt, der Hauptsache nach auch hinreichend dünne Blätter oder Platten aus Glimmer oder andern zweiaxigen und ebenfalls aus einaxigen Krystallen, vorausgesetzt, daß die Flächen derselben (der Blätter oder Platten) der gemeinschaftlichen Ebene beider optischen Axen, oder bei Krystallen mit einer Axe dieser letzteren parallel sind. Nur der Umstand, daß der Gyps und der Glimmer sehr leicht zu haben und die besagten dünnen Platten daraus unmittelbar durch einfache Spaltung zu erhalten sind, mithin alles Herausschneiden aus dem Krystalle und nachheriges Schleifen und Poliren erspart wird, ist die Ursache, warum man zu den in Rede stehenden Versuchen gewöhnlich Gyps oder Glimmer anwendet.

Sehr schöne Farbenerscheinungen zeigen sich, wenn man bei einem gewöhnlichen Kaleidoskop als Objecte zwischen zwei dünne, möglichst reine Glasscheiben Gypsblättchen von verschiedener Dicke und Form legt, in die zum Hineinsehen ins Kaleidoskop bestimmte Oeffnung einen Doppelspath, oder (noch besser) eine Nicol'sches Prisma einsetzt und nun die Gypsblättchen im polarisirten Lichte betrachtet. Dieser Apparat, von Petrina erdacht und Kaleidopolariskop genannt, ist zugleich das empfindlichste Prüfungsmittel, ob Licht polarisirt sei oder nicht.

353. Erklärung der Farben dünner Blättchen oder Platten im polarisirten Lichte nach der Vibrationstheorie. Es sei in Fig. 697 Gg ein Blättchen aus Gyps (und dieser soll uns auch jetzt wieder als Repräsentant der hierher gehörigen Krystalle dienen), wie es, nämlich in Gestalt eines schiefen Parallelogramms, erhalten wird, wenn man einen Gypskrystall durch Spaltung nach der Ebene, in welcher seine optischen Axen liegen, in Blätter zerlegt und ein solches hierauf nach den zwei andern Richtungen, nach welchen der Gyps ebenfalls, wenngleich unvollkommener, theilbar ist, spaltet. Wir wissen aus dem auf vorhergehender Seite unter (†) Angeführten, daß

Fig. 697.

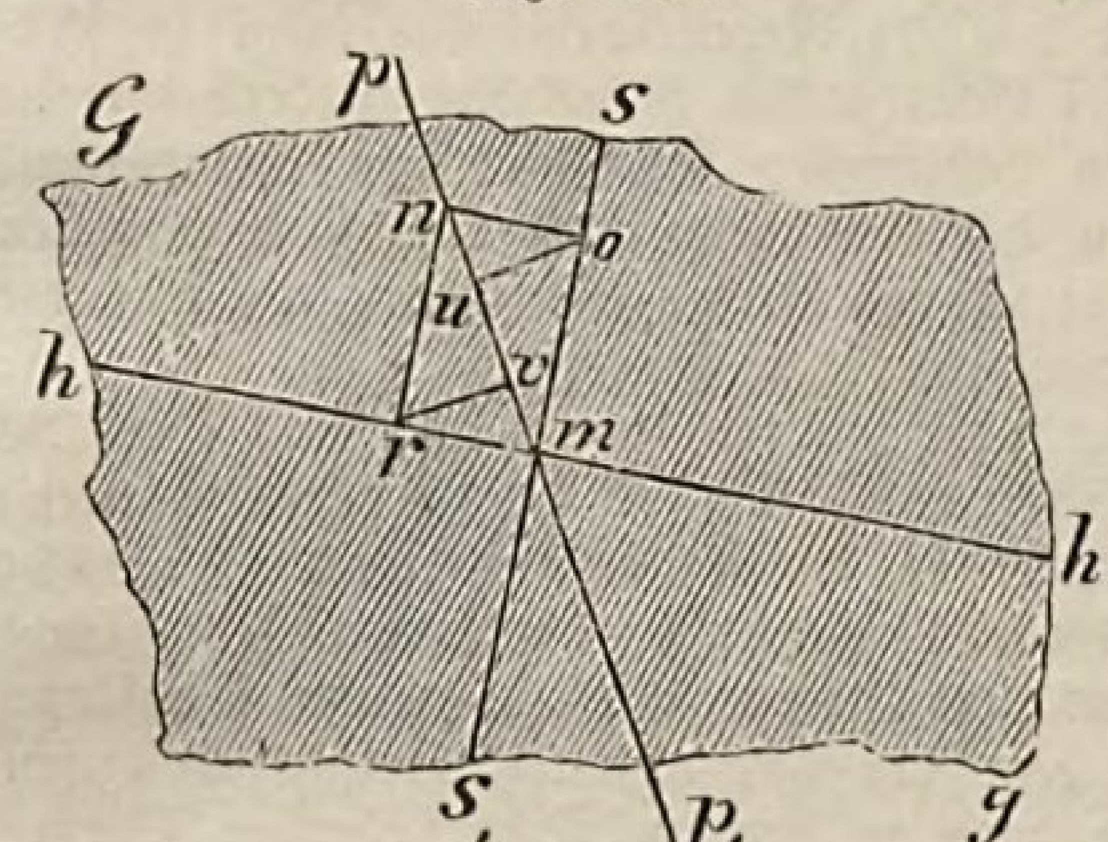


das Blättchen, wenn es sich zwischen Polariseur und Analyseur, während die Reflexionsebenen dieser beiden parallel sind . . . (††), so befindet, daß es von

den polarisirten Strahlen senkrecht getroffen wird, in zwei, um einen rechten Winkel verschiedenen Stellungen den Zustand der durchgehenden polarisirten Strahlen nicht ändert, indem diese vom Analyseur ganz ebenso wie unter sonst gleichen Umständen beim Nichtvorhandensein des Blättchens reflektirt werden. Es hat daher das Gypsblättchen die Eigenschaft, den Polarisationszustand der Strahlen nicht zu ändern, wenn eine gewisse Linie (eine gewisse Richtung) in demselben mit der Polarisationsebene parallel oder gegen sie senkrecht ist, d. h. die Eigenschaft ebensowohl Schwingungen, die senkrecht gegen diese Linie oder Richtung, als auch solche, die parallel mit ihr stattfinden, fortzupflanzen. Wir wollen die besagte Linie oder Richtung, — welche, genauer Bestimmung zu Folge, gegen die Halbirungslinie (a x) eines spitzigen Winkels des schiefen Parallelogramms G g nahe unter 20° geneigt ist, und durch h h₁ vorgestellt werden soll, — in der Folge, um kürzer sprechen zu können, immer den Hauptschnitt des Gypsblättchens nennen.

Nach diesen Prämissen und nach im Früheren Vorgetragenen ergibt sich nun die Erklärung der in Rede stehenden Erscheinungen an den Gypsblättchen folgendermaßen. Wird ein solches Blättchen G g (Fig. 698) (wir wollen es uns nämlich von unregelmäßiger Gestalt denken, wie es durch Spaltung des Krystalls bloß nach einer Richtung meistens erhalten wird) in einem Punkte m senkrecht von einem Strahle getroffen, so wird dieser in zwei Theile gespalten, wovon der eine im Hauptschnitte h h₁, der andere in der darauf senkrechten Richtung s s₁ polarisirt ist, so daß die Schwingungen des ersteren parallel mit s s₁ und jene des letzteren parallel mit h h₁ vor sich gehen. Haben nun der Polariseur (P) und der Analyseur (E) die oben unter (††) angegebene gegenseitige Stellung und befindet sich das Gypsblättchen so zwischen denselben, daß der Hauptschnitt h h₁ mit der Reflexionsebene von P, mithin die Schwingungsebene der von P kommenden polarisirten Strahlen mit s s₁ parallel ist; so können diese im Blättchen nur Schwingungen nach der Richtung s s₁, nicht aber nach der gegen diese senkrechten Richtung h h₁ anregen; es kann sich daher durch das Blättchen nur ein polarisirter Strahl, nämlich nur der fortpflanzen, dessen Schwingungen nach s s₁ erfolgen, und da der Analyseur die Schwingungen dieser Richtung reflektirt, so muß das Blättchen im (vom Analyseur) reflektirten Lichte hell (farblos) und im durchgelassenen dunkel erscheinen . . . (I). Ist das Gypsblättchen in seiner Ebene in die Lage gedreht worden, wo s s₁ mit der Reflexionsebene von P, also die Schwingungsebene der von P kommenden polarisirten Strahlen mit dem Hauptschnitte h h₁ parallel ist; so pflanzen sich, aus gleichem Grunde wie im vorigen Falle, durch das Blättchen nur nach h h₁ stattfindende Schwingungen fort und dasselbe muß, da auch diese Schwingungen (wegen ihres Parallelismus mit jenen der von P kommenden Strahlen) wieder vom Analyseur reflektirt werden, sich in dem von diesem reflektirten und durchgelassenen Lichte ganz wie im vorigen Falle verhalten . . . (II). Dreht man das Blättchen in eine Stellung, wo (wie dies die Fig. 698 anschaulich macht) jede der besagten Schwingungsebenen h h₁ und s s₁ in demselben mit der Schwingungsebene p p₁ der von P kommenden polarisirten Strahlen einen schiefen Winkel macht; so findet eine Zerlegung der Kraft, womit jeder solche Strahl in der Richtung seiner Schwingungsebene p p₁ Vibrationen im Blättchen hervorzurufen sucht, und welche

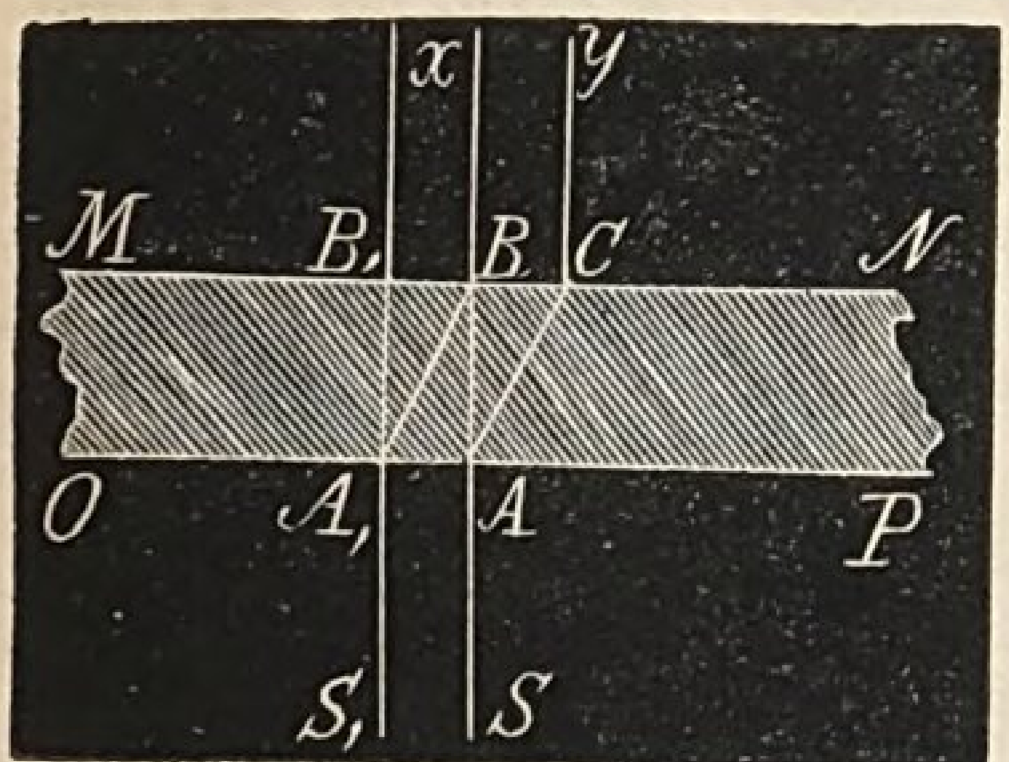
Fig. 698.



(Kraft) der Größe nach durch m n vorgestellt werden mag, in zwei Componenten Statt, wovon die eine m r in die Ebene hh_1, die zweite m o in die Ebene ss_1 fällt, und welche durch von n auf hh_1 und ss_1 gefällte Perpendikel erhalten werden. Jeder der das Blättchen treffenden polarisirten Strahlen ruft daher in diesem sowohl nach hh_1 als nach ss_1 Schwingungen hervor, d. h. wird im Blättchen in zwei Strahlen gespalten, die in auf einander senkrechten Ebenen schwingen (der eine in hh_1, der andere in ss_1), mithin entgegengesetzt polarisirt sind. Es treten also aus dem Blättchen (da von allen an dasselbe treffenden polarisirten Strahlen das Nämliche gilt) in entgegengesetzten Polarisationszuständen befindliche Strahlenbündel aus. Gelangen diese dann auf den Analyseur, (welcher nur nach pp_1 vor sich gehende Schwingungen reflektiren kann), so werden ihre Schwingungen durch ihn auf die Ebene pp_1, mithin die Bündel selbst auf einerlei Polarisationszustand zurückgeführt*), diese interferiren nachher, und aus einer derartigen Interferenz resultiren die oben beschriebenen Erscheinungen, welche Gypsblättchen im polarisirten Lichte zeigen. Wie es zu dieser Interferenz kommt, so wie das Resultat derselben, wird folgende Betrachtung klar machen.

Es sei **MNOP** Fig. 699 der Durchschnitt des von parallelen Flächen (**MN** und **OP**) begrenzten Gypsblättchens, **S A** einer der dasselbe senkrecht treffenden polarisirten Strahlen, und dieser werde im Blättchen in die zwei Theile **A B** und **A C** gespalten; der eine **AB** dieser Theile, der dem in Krystallen mit einer optischen Axe gewöhnlich gebrochenen Strahle analog sich verhält, (er soll deswegen Kürze halber auch der gewöhnliche heißen), ist nach der Ebene des Hauptschnittes, der andere **AC**, (welchen wir zum Unterschiede von dem vorigen immer den ungewöhnlichen nennen wollen) senkrecht gegen diesen polarisirt, und beide Theile treten aus dem Blättchen wegen des Parallelismus seiner Flächen nach parallelen Richtungen **Bx** und **Cy** aus.

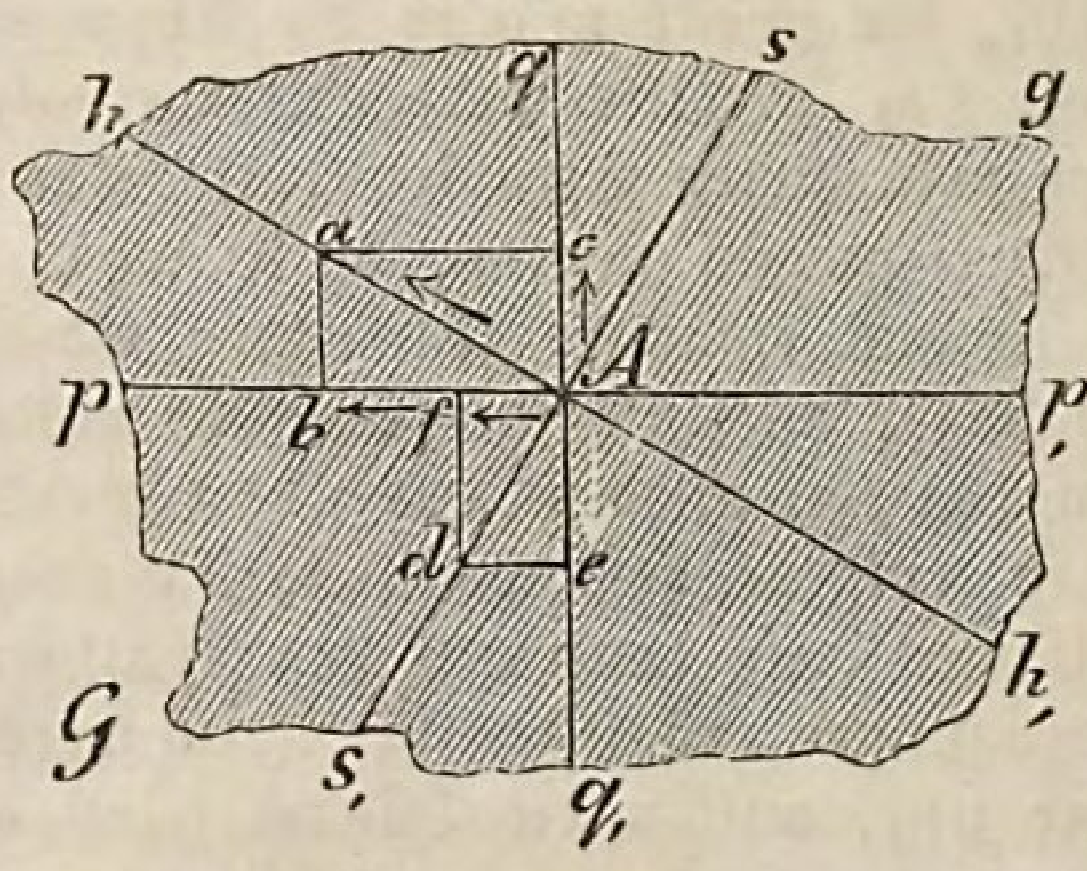
Fig. 699.



Gewiß ist unter den andern das Blättchen senkrecht treffenden polarisirten Strahlen einer z. B. $S_1 A_1$, welcher (in A_1) der Art einfällt, daß von den zwei Theilen $A_1 B_1$ und $A_1 B$, in die auch er gespalten wird, der ungewöhnliche $A_1 B$ mit dem gewöhnlichen Theile **AB** des vorigen Strahles beim Austritt aus dem Blättchen (in **B**) so zusammentrifft, daß beide Theile dann nach der nämlichen Richtung **Bx** fortgehen. Es sind also in **Bx** zwei Strahlen vereinigt, die entgegengesetzt und zwar der eine **AB** nach der Ebene des Hauptschnittes (hh_1 der vorigen Fig. 698) und der zweite $A_1 B$ nach der darauf senkrechten Ebene ss_1 polarisirt ist. Es befinden sich diese zwei Strahlen überdieß in verschiedenen Phasenzuständen und diese Phasendifferenz hängt von der Ungleichheit der Geschwindigkeiten, womit die Fortpflanzung des gewöhnlichen und des ungewöhnlichen Strahles im Krystalle geschieht, ferner von der Dicke des Blättchens ab. Es sei in Fig. **700 A** der Punkt, wo die besagten, in **Bx** vereinigten zwei Strahlen aus dem Blättchen (**Gg**) senkrecht gegen dasselbe (also gegen die Ebene des Papiers) hervortreten, ferner seien hh_1 und ss_1 ihre Polarisationsebenen. Gelangen nun diese zwei Strahlen an den bewußten Analyseur, der nur Strahlen von der Schwingungsebene pp_1 reflektirt und nur Strahlen durchläßt, die in einer auf pp_1 senkrechten Ebene qq_1 schwingen; so wird jeder der zwei (in **Bx** (Fig. 699) verei-

*) Die Zurückführung der Schwingungen wird aus der Zerlegung von om in ou und um und von rm in rv und vm begreiflich.

Fig. 700.



nigt enthaltenen] entgegengesetzt polarisirten Strahlen in zwei andere wieder entgegengesetzt, nämlich in den Ebenen $p p_1$ und $q q_1$ polarisirte Componenten zerlegt. Geht die Schwingungsrichtung des in der Ebene $s s_1$ polarisirten Strahles in einem Momente von A nach h und stellt A a seine Schwingungsintensität vor, so gehen in demselben Momente die Schwingungsrichtungen seiner Componenten von A nach p und von A nach q und die Schwingungsintensitäten dieser Componenten sind A b und A c. Der zweite in der Ebene $h h_1$ polarisirte Strahl zerfällt, wenn seine Schwingungsrichtung z. B. von A nach s_1 geht und A d seine Schwingungsintensität ist, in die Componenten von den Schwingungsintensitäten A e und A f und deren Schwingungsrichtungen von A nach q_1 und von A nach p gehen. Es entstehen so aus den zwei in **Bx** vereinigt gewesenen Strahlen am Analyseur zwei Paare. Die Theile des einen Paares, deren Schwingungsintensitäten A f und A b sind, sind nach einerlei Richtung polarisirt, haben $p p_1$ zur Schwingungsebene und wirken übereinstimmend; die mit den Schwingungsintensitäten A c und A e versehenen Theile des zweiten Paares haben unter einander auch einerlei Polarisationszustand, aber $q q_1$ zur Schwingungsebene und wirken entgegengesetzt*). Bei der Interferenz, welche dem 3. Gesetze auf S. 789 gemäß sowohl zwischen den Strahlen des einen Paares als zwischen jenen des andern eintritt, verstärken sich die Bewegungen A f und A b, die Bewegungen A c und A e hingegen schwächen sich, so daß am Analyseur im reflektirten und im durchgelassenen Lichte verschiedene Intensitäten des letzteren sich zeigen müssen. Ist A c = A e, [was bei Gleichheit von A b und A d der Fall ist, welche, wenn der Hauptschnitt des Gypsblättchens mit der Schwingungsebene $p p_1$ (des Polariseurs und Analyseurs) einen Winkel von 45° macht, stattfindet], so vernichten sich A c und A e gegenseitig, und der Analyseur zeigt daher das Blättchen im durchgelassenen Lichte ganz dunkel. Da derselbe Gangunterschied der interferirenden Strahlen bei verschiedenfarbigem Lichte wegen Ungleichheit der Wellenlängen des letzteren einen verschiedenen Einfluß nimmt, so daß das Mischungsverhältniß der Bestandtheile des weißen Lichtes gestört wird, da übrigens der Gangunterschied auch von der Dicke des Blättchens abhängt; so erscheint dieses im Allgemeinen farbig und es ändert sich die Farbe mit der Dicke des Blättchens. Da, wo die Wirkung der Interferenz in dem einen Strahlenpaare Verstärkung ist, in dem andern Schwächung Statt findet, so werden, wenn in dem einen Paare zu Folge besagter Verstärkung gewisse farbige Bestandtheile des an das Gypsblättchen gelangten weißen Lichtes vorherrschen,

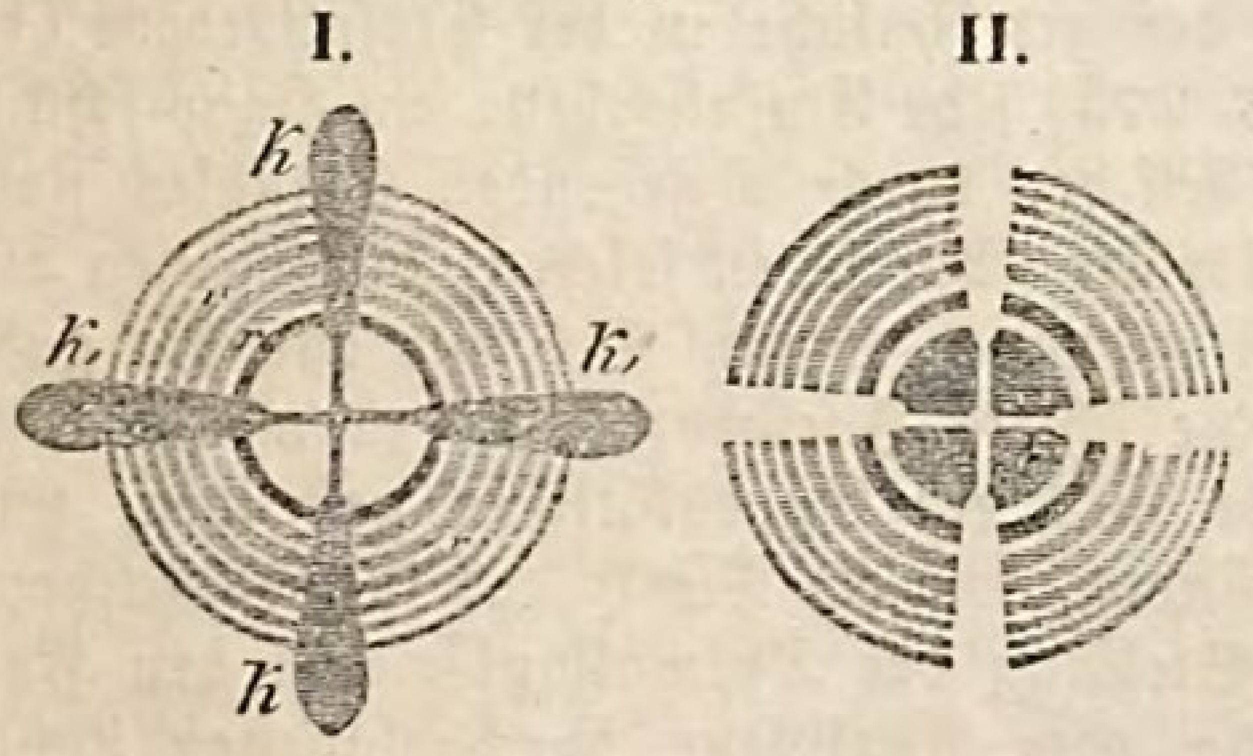
---

*) Auch wenn die Schwingungsrichtung des in $h h_1$ polarisirten Strahles von A nach s hin ginge, würden von den zwei durch Zerlegung entstehenden Componenten-Paaren immer die Componenten des einen Paares übereinstimmend und jene des andern Paares entgegengesetzt wirken: denn so oft zwei gegen einander senkrechte Bewegungen nach zwei andern gleichfalls gegen einander senkrechten Richtungen zerlegt werden, haben von den zwei Paaren in einerlei Geraden zusammenkommender Componenten nothwendig immer die Componenten des einen Paares einerlei und jene des anderen Paares entgegengesetzte Richungen, wie man leicht einsieht, wenn man eine solche Zerlegung zweier gegen einander rechtwinkeliger, sonst wie immer gerichteter (durch gerade Linien dargestellter) Bewegungen nach zwei andern auf einander senkrechten geraden Linien wirklich versucht.

in dem zweiten, wo die nämlichen farbigen Bestandtheile eine Schwächung erfahren, die zu diesen complementären überwiegend sein, und man begreift nun auch, warum das Blättchen in dem vom Analyseur reflektirten und in dem von ihm durchgelassenen Lichte mit complementären Farben erscheint. Wird der Analyseur durch einen Doppelspath ersetzt, so zeigt dieser die complementären Farben des Gypsblättchens, die man durch den Analyseur successive, nämlich im reflektirten und nachher im durchgelassenen Lichte oder umgekehrt sieht, mit einem Male. Diese Farben sind, aus nach dem Vorhergehenden für sich einleuchtenden Gründen, am intensivsten, wenn der Hauptschnitt des Doppelspathes mit der Polarisationsebene der an das Gypsblättchen treffenden Strahlen parallel oder darauf senkrecht ist und lassen sich am besten beobachten, wenn man eine undurchsichtige oben geschwärzte Platte (etwa aus Metall) mit einer runden Oeffnung in der Mitte auf das Tischchen des Polarisationsinstrumentes bringt, und gerade unter diese Oeffnung das Gypsblättchen legt. Man sieht dann durch den Doppelspath zwei kreisrunde, zum Theile übereinanderfallende Flächen, die complementäre Farben zeigen, bis auf die Stelle, wo sie sich decken, und welche zum Beweis, daß die Farben wirklich complementär sind (sich zu Weiß ergänzen), völlig weiß erscheint.

354. Farbenringe an einaxigen Krystallen. Man erhält diese Ringe am leichtesten, wenn man eine Doppelspathplatte, die von parallelen, auf der optischen Axe des Krystalls senkrechten Ebenen begrenzt ist (und welche durch entsprechendes Abschleifen der zwei stumpfen Ecken eines Kalkspathrhomboeders erhalten wird), zwischen zwei Turmalinplättchen, am bequemsten zwischen jene der auf S. 784 beschriebenen Turmalinzange bringt und dann, die Zange nahe ans Auge haltend, durch die Turmaline nach einer hellen Stelle des Himmels hinschaut. Sind die Axen der Turmaline gegeneinander rechtwinkelig, so sieht man concentrische Farbenringe r, r (I. Fig. 701) mit einem sie durchschneidenden schwarzen Kreuz k k_1. Stellt man die Axen einander parallel, so zeigen sich dieselben Ringe, aber in den zu den vorigen complementären Farben, und an der Stelle des schwarzen Kreuzes befindet sich ein weißes (II. Fig. 701). Ganz besonders lebhaft und rein erscheinen die Farben der Ringe bei Anwendung zweier Nicol'schen Prismen anstatt der Turmalinplättchen, weil da die Trübung, welche diese Farben durch die dem Turmalin eigene Färbung erfahren, wegfällt.

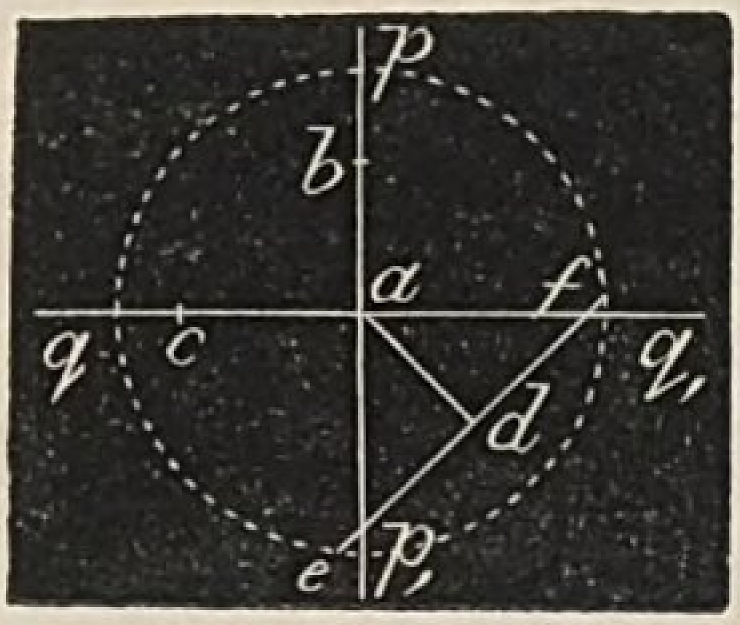
Fig. 701.



Die Erklärung des eben beschriebenen Phänomens der Farbenringe ist der Hauptsache nach nun folgende. Das hinter den Turmalinplättchen befindliche Auge empfängt einen Lichtkegel, der seine Spitze im Auge selbst hat und dessen Axe mit der optischen Axe der Doppelspathplatte zusammenfällt. Der in der Richtung dieser Axe durch den Doppelspath gehende Strahl erfährt (nach dem 3. Gesetz) auf S. 773) keine doppelte Brechung und auch keine Aenderung des ihm von der Turmalinplatte, die er vorher passirte, ertheilten Polarisationszustandes; dieser Strahl geht also durch die zweite gegen die erste gekreuzt stehende Turmalinplatte nicht durch, gerade so, wie wenn zwischen den Turmalinplatten sich keine Doppelspathplatte befände. Die Strahlen des Kegels, welche nahe um die optische Axe der letztgenannten Platte herum liegen, erleiden zwar eine doppelte Brechung, aber in unmerklichem Grade (sie fallen nämlich auf den Doppelspath zwar schief auf, die Schiefe ist jedoch sehr

unbedeutend) und verhalten sich daher gegen die zweite Turmalinplatte wie der vorerwähnte, nach der Axe des Doppelspathes durchgegangene Strahl. Stellt in Fig. 702 a den Punkt vor, wo dieser Strahl aus der mit der Ebene des Papieres parallel gedachten Doppelspathplatte austritt, so muß beim Durchsehen durch die gekreuzten Turmalinplättchen dieser Punkt (a) und seine nächste Umgebung schwarz (dunkel) erscheinen. Stellt ferner pp_1 die Polarisationsebene der aus der einen Turmalinplatte (wir wollen sie Kürze halber immer die erste nennen) an den Doppelspath gelangenden Strahlen, also zugleich die Schwingungsebene der andern (zweiten) Turmalinplatte, dann qq_1 eine gegen pp_1 senkrechte Ebene (mithin auch die Schwingungsebene der ersten Turmalinplatte) und endlich die punktirt eingeschlossene, a zum Mittelpunkt habende Kreisfläche den Flächenraum vor, in welchem der oben besagte Strahlenkegel an die Doppelspathplatte trifft; so werden [gemäß (173) auf S. 783] 1. die Strahlen, die wie z. B. b in dem mit pp_1 zusammenfallenden Hauptschnitte des Doppelspathes liegen, in diesem nicht doppelt, sondern nur gewöhnlich gebrochen, und hören nicht auf, in der Ebene pp_1 polarisirt zu sein, werden demnach von der zweiten Turmalinplatte nicht durchgelassen; 2. die Strahlen, welche sich wie c in der (auf pp_1 senkrechten) Ebene qq_1 befinden, erfahren nur die ungewöhnliche Brechung in dieser Ebene (qq_1), sind dann in einer gegen qq_1 senkrechten Ebene, mithin wieder in pp_1 polarisirt, und werden daher ebenfalls von der zweiten Turmalinplatte nicht durchgelassen; es erscheint also dem hinter dieser Platte befindlichen Auge der Doppelspath an jedem in den Richtungen pp_1 und qq_1 und ihnen sehr nahe gelegenen Punkte nothwendig dunkel, und man sieht daher ein schwarzes Kreuz. Alle andern Strahlen, z. B. der durch d gehende, erfahren die doppelte Brechung, aber nicht nur der gewöhnlich, sondern auch der ungewöhnlich gebrochene bleiben in der Einfallsebene [S. 773 unter 3.)]; sie sind natürlich entgegengesetzt polarisirt und zwar der gewöhnliche in der Einfallsebene (da in dem hier vorausgesetzten Fall [3. S. 773] jede Einfallsebene ein Hauptschnitt ist), also der gewöhnlich gebrochene Theil des durch d gehenden Strahles nach da und der ungewöhnliche nach ef polarisirt. Auf jeden solchen, durch einen außerhalb pp_1 und qq_1 gelegenen Punkt gehenden Strahl sind nun offenbar ganz die nämlichen (nur in Rücksicht auf seine schiefe Incidenz etwas zu modificirenden) Schlüsse anwendbar, wie auf einen durch ein Gypsblättchen gehenden, und es muß dieser Punkt aus denselben Gründen, wie ein Punkt des Gypsblättchens farbig erscheinen. Daß die gekreuzte Stellung der Turmalinplättchen den Fall repräsentirt, wo das Gypsblättchen im vom Analyseur durchgelassenen Lichte betrachtet wird, bedarf wohl kaum der Erwähnung. Da demnach die Farbe des betreffenden Doppelspathpunktes von der Phasendifferenz der interferirenden Strahlen, diese aber von der Dicke des Plättchens, welche sich wieder mit der Schiefe der Incidenz der Strahlen ändert, abhängt; so sieht man ein, daß in gleicher Entfernung, z. B. ad, rings um a herum gelegene Punkte, für welche die besagte Incidenz-Schiefe dieselbe ist, bei dem Umstande, wo die Doppelspathplatte überall eine gleiche Dicke hat, gleich gefärbt erscheinen werden, daß man also um a herum concentrische, (von dem oben besprochenen dunkeln Kreuz durchschnittene) farbige Kreise (Ringe) sehen und daß die Farbe jedes Kreises an allen seinen Stellen die nämliche, jene der verschiedenen Kreise aber, je nach der zugehörigen Incidenz-Schiefe, die mit der Entfernung von a zunimmt, verschieden sein müsse. Daß bei der Drehung des zweiten (oder überhaupt eines) der Turmalinplättchen in die Stellung, wo ihre Axen zu einander parallel sind, das

Fig. 702.



dunkle Kreuz in ein helles und die Farben der Ringe in die zu den vorigen complementären übergehen müssen, ist nun gewiß für sich klar. Eine weitere Betrachtung und Rechtfertigung der Veränderungen, welche in dem Ringphänomene während der besagten Drehung vor sich gehen, sich überhaupt in demselben zeigen, wenn Turmalinplatten irgend eine von der Stellung der gekreuzten und parallelen Axen verschiedene Stellung haben, würde uns zu weit führen. Wie der Doppelspath verhalten sich rücksichtlich der besprochenen Ringerscheinung auch die übrigen einarigen Krystalle, mit Ausnahme des Bergkrystalls *), nur sind bei gleicher Dicke der senkrecht auf die Axe geschnittenen Platten die Ringe derselben Ordnung desto kleiner, je stärker die doppelte Brechung der Substanz des Krystalls ist, d. h. je mehr der größte und kleinste Brechungsexponent für dieselbe verschieden sind. Besonders geeignet zur Darstellung des Ringphänomens sind außer dem Doppelspathe noch folgende einarige Krystalle: Turmalin, salpetersaures Natron, saures arseniksaures Kali, essigsaures Kalkkupfer, Eis (letzteres in Platten angewendet, wie man sie durch Zerbrechen der auf einer Wasseroberfläche gebildeten und etwa 5 bis 10‴ dick gewordenen Eisdecke erhält).

353. Farbenringe an zweiarigen Krystallen. Bei diesen Krystallen entstehen im polarisirten Lichte an Platten, die senkrecht gegen die Mittellinie (gegen die Halbirungslinie des Winkels, unter welchem die zwei optischen Axen gegen einander geneigt sind) aus dem Krystalle geschnitten worden, zwei Ringsysteme, nämlich eines um jede Axe **). An vielen zweiarigen Krystallen, z. B. dem Glimmer, dem schwefelsauren Eisen (Eisenvitriol), dem Topas, sind, weil bei ihnen der besagte Neigungswinkel zu groß ist, beide Ringsysteme nicht gleichzeitig, sondern nur nach einander sichtbar, wenn man nämlich die Platte bald nach der einen, bald nach der andern Seite hin neigt. Da beim Salpeter dieser Winkel nur 5° 20′ beträgt, so zeigt er recht deutlich mit einem Male beide Ringsysteme und deshalb soll die nähere Betrachtung dieses Phänomens hier gerade an diesem Körper vorgenommen werden. Auch beim Arragonit und beim kohlensauren Bleioxyd (Weißbleierz) sieht man recht gut beide Ringsysteme gleichzeitig. Der Salpeter krystallisirt in der Regel in Prismen mit sechs Kanten, und diesen Kanten parallel ist die vorerwähnte Mittellinie, so daß eine Platte, die aus Salpeter senkrecht auf die erwähnten Kanten herausgeschnitten und an den Schnittflächen polirt worden, wenn sie ein $\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{10}$ Zoll dick ist, dem Zwecke recht gut entspricht. Bringt man eine solche Platte zwischen Turmalinplättchen mit sich kreuzenden Axen und hält das Ganze gegen den hellen Himmel; so sieht man, wenn die durch die Axen des Salpeters gehende Ebene mit der Polarisationsebene der in die Salpeterplatte eintretenden Strahlen parallel ist, das in Figur 703 bei I abgebildete Doppelsystem ovaler farbiger Ringe mit einem dunklen Kreuz. Dreht man die Salpeterplatte in ihrer Ebene zwischen den unbeweglich bleibenden Turmalinen, so durchläuft das Phänomen eine Reihe periodischer Aenderungen, indem es nach jeder Drehung um einen Quadranten ihr anfängliches Aussehen erhält.

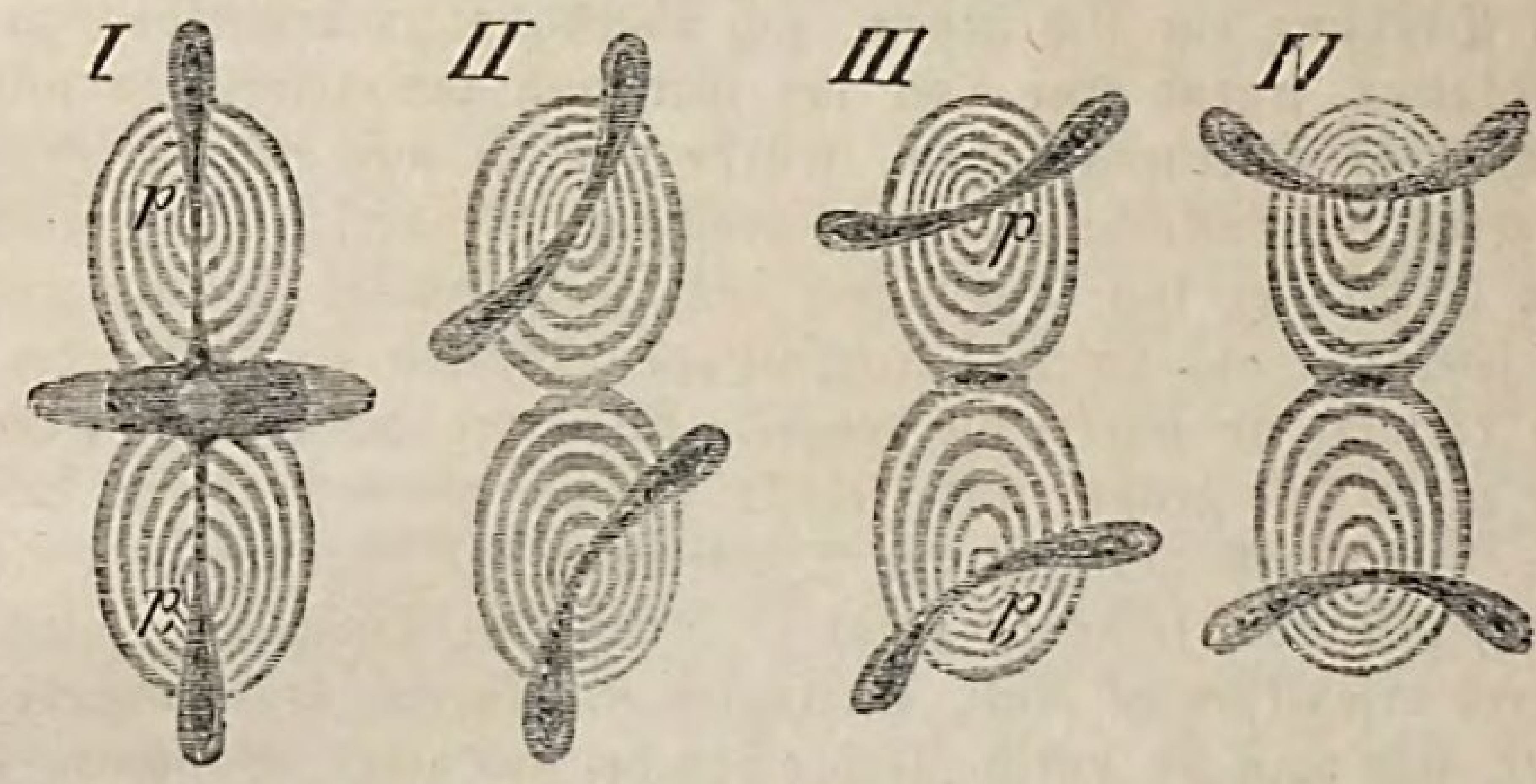
---

*) Eine aus dem Bergkrystalle senkrecht gegen seine Axe herausgeschnittene Platte zeigt nämlich das dunkle Kreuz nicht, sondern höchstens nur eine Spur davon an den äußersten Farbenringen, in der Mitte der Ringe aber einen farbigen Fleck, dessen Farbe wechselt, wenn bei sonst gleichbleibenden Umständen die Polarisationsebene der auf die Platte fallenden Strahlen gedreht wird. Es liegt der Grund dieses abweichenden Verhaltens in einer eigenthümlichen Beschaffenheit des Bergkrystalles, auf die wir an einem andern Orte zurückkommen werden.

**) Dieses doppelte Ringsystem führte Brewster zur Entdeckung, daß gewisse Mineralien zwei Axen der doppelten Brechung besitzen.

Man sieht in Fig. 703 bei **II**, wie die Erscheinung sich zeigt, wenn die Drehung eben erst begonnen hat, bei **III**, wenn sie $22\frac{1}{2}^{0}$ oder $67\frac{1}{2}^{0}$ und bei **IV**, wenn sie 45^{0} beträgt. Die Farben der Ringe sind im Allgemeinen dieselben, wie bei den Ringsystemen einaxiger Krystalle, welche die nämlichen Farben wie dünne Plättchen zeigen. Eine Verminderung der Dicke der Salpeterplatte hat eine Vergrößerung und eine Vermehrung der Dicke eine Verkleinerung der Ringe, und beides hat eine Aenderung ihrer Farbe zur Folge. Wird eine oder die andere Turmalinplatte gedreht (in die Stellungen, wo sich ihre Axen nicht rechtwinkelig kreuzen), während die Salpeterplatte in einer der Lagen, wo sie die in Fig. 703 bei **I** bis **IV** dargestellten Erscheinungen gibt, verbleibt; so sind, wenn die Drehung 90^{0} oder 270^{0} beträgt, die Farben der jetzt sichtbaren Ringsysteme zu jenen der früheren complementär und das dunkle Kreuz (I Fig. 703), so wie die hyperbolisch gekrümmten dunkeln Streifen (**II**, **III**, **IV**) weiß. Die Ringerscheinungen am Aragonit und am Weißbleierze sind jenen am Salpeter sehr ähnlich, nur ist die Aufeinanderfolge der Farben etwas verschieden. Auch beim Arragonit, dessen Krystallform der des Salpeters sehr ähnlich ist, liegt die Mittellinie den Kanten des Prismas parallel.

Fig. 703.



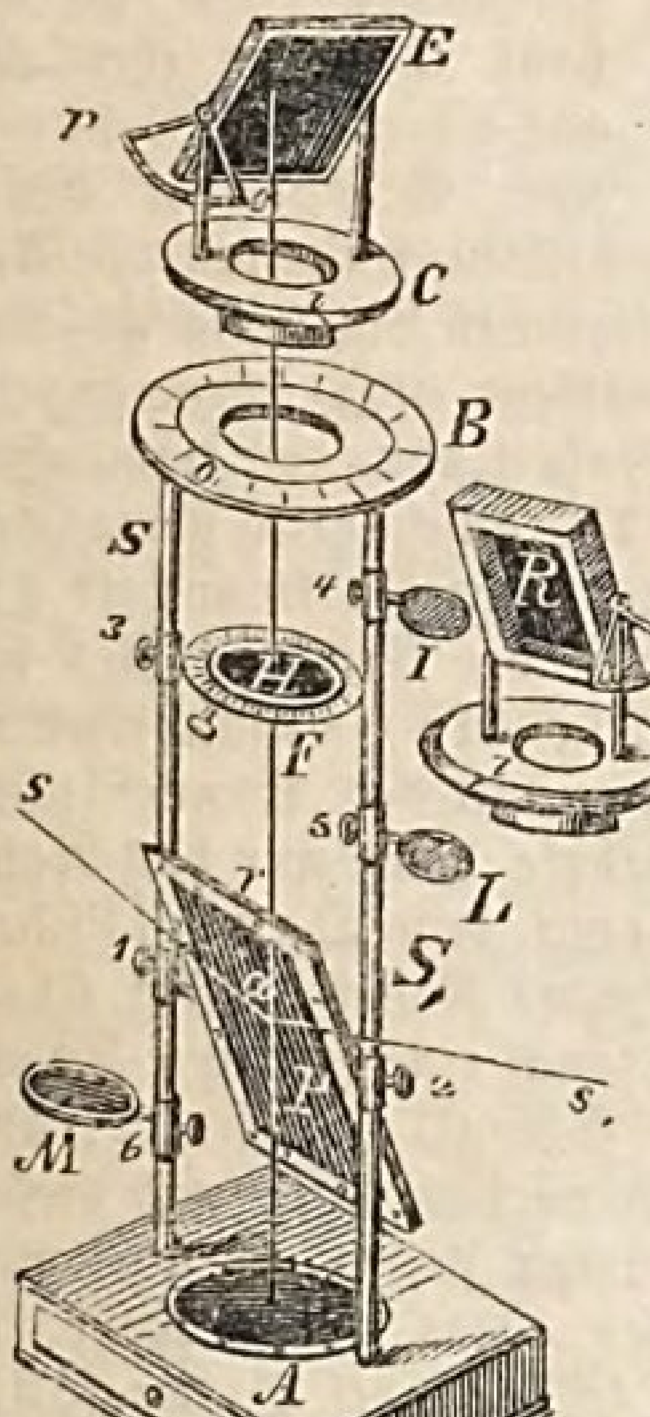
Anwendung der nun besprochenen Farbenringe. Sie können zur Untersuchung dienen, ob das aus irgend einer Quelle kommende Licht polarisirt sei oder nicht. Man braucht zu diesem Ende nur eine senkrecht gegen die Axe geschliffene Doppelspathplatte an ein zur Axe parallel geschnittenes Turmalinplättchen anzulegen, das Auge hinter das letztere und nahe daran zu halten und dann nach der betreffenden Quelle hinzusehen. Nimmt man Farbenringe wahr, so ist das Licht polarisirt. Ferner entscheiden die Farbenringe, ob ein Krystall einaxig oder zweiaxig ist und welche Lage die Axen haben. Schneidet man nämlich aus dem zu prüfenden Krystalle nach verschiedenen Richtungen Platten, die von parallelen Flächen begrenzt sind und betrachtet sie auf die beschriebene Weise im polarisirten Lichte; so ist der Krystall ein- oder zweiaxig, je nachdem die unter mannigfaltiger Abänderung der Schnittrichtungen erhaltenen Platten und der Neigung dieser letzteren gegen die Axe des ins Auge gelangenden Lichtkegels bloß ein oder zwei Ringsysteme zeigen. Im ersteren Falle hat die fragliche optische Axe die nämliche Richtung, wie die Axe des besagten Lichtkegels bei der Stellung der Platte, wo die Ringe völlig kreisförmig sind. Im andern Falle gehen die zwei Axen durch die Pole (p, p_1 Fig. 703) der Ringsysteme, und aus dem gegenseitigen Abstande dieser letzteren und der Stellung des Auges läßt sich die Neigung der zwei Axen gegen einander bestimmen. Aus derartigen Bestimmungen, indem sie bei successivem Auffallenlassen der verschiedenen homogenen Lichtgattungen, ferner, unter sonst gleichen Umständen, bei verschiedenen Temperaturen vorgenommen wurden, ergaben sich die vorn in **342** gemachten Aussprüche, nämlich daß die Richtungen der optischen Axen in zweiaxigen Krystallen für Strahlen verschiedener Brechbarkeit verschieden sind und sich oft auffallend mit der Temperatur ändern. Endlich lassen sich aus dem Verhalten der Krystalle im polarisirten Lichte oft auch Verschiedenheiten im inneren Bau und Gefüge, ja selbst Unterschiede, wenn sie auch nur ganz gering sind, ihrer materiellen Beschaffenheit erkennen. Früher hielt man z. B. Alles, was Glimmer heißt, für gleichartig; erst die Entdeckung, daß es ein- und zweiaxigen Glimmer gibt, führte auf die Vermuthung materieller Verschiedenheit, welche sich bei nachher unternommenen genaueren chemischen Analysen auch wirklich herausstellte.

Hier mag gelegenheitlich bemerkt werden, daß die Bestimmung, ob eine Glimmerplatte ein- oder zweiaxig sei, mittelst der Farbenringe nur angeht, wenn sie nicht zu dünn ist:

denn bei sehr dünnen Glimmerplättchen sind die Ringe so groß, daß man bloß den Fleck in ihrer Mitte sieht. Um nun auch in diesem Falle zum Ziele zu kommen, darf man nur den Analyseur eines Polarisationsapparates gegen den Polariseur und das Auge gegen ersteren so stellen, daß das Gesichtsfeld dunkel ist, und nun das Glimmerplättchen zwischen den Polariseur und Analyseur bringen. Erscheint auch dieses dunkel und bleibt es so, man mag es in seiner Ebene wie immer drehen, so hat es nur eine optische Axe (denn ist es einaxig, so ist der oben besagte mittlere Fleck, den man sieht, die Mitte des das Ringsystem durchschneidenden dunklen Kreuzes, welches bei jeder Drehung des Plättchens in seiner Ebene dunkel bleibt), wird es dabei aber auch abwechselnd hell, so ist es zweiaxig.

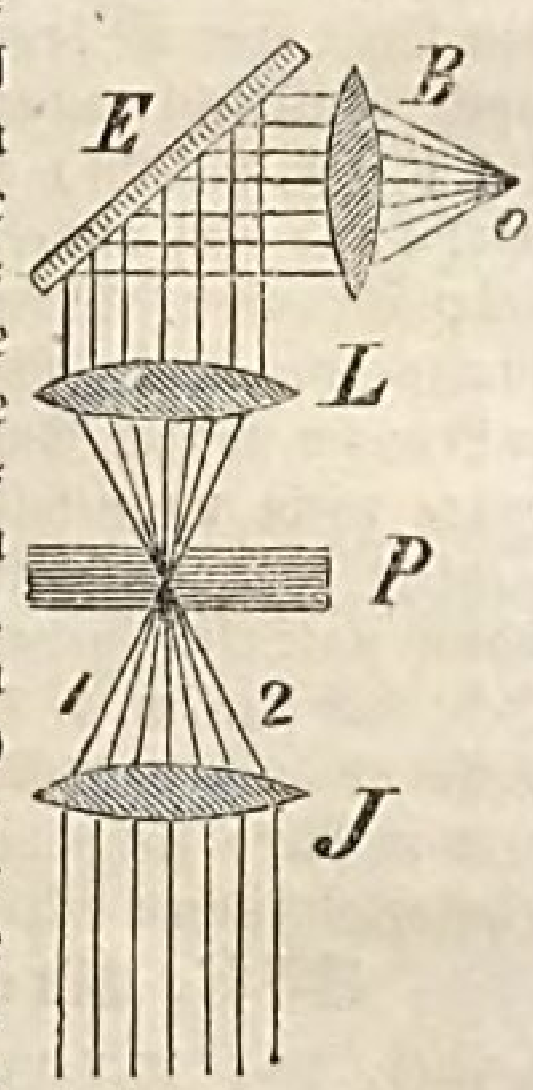
Zum Schluß endlich wollen wir noch 1. zeigen, auf welche Art man die Ringsysteme auch im Nörrenberg'schen Polarisationsinstrumente (Fig. 704) gut beobachten könne und 2. einen Apparat kennen lernen, mittelst welches sich diese Systeme und überhaupt die meisten Polarisationserscheinungen objectiv darstellen (auf eine Wand projiciren) lassen.

Fig. 704.



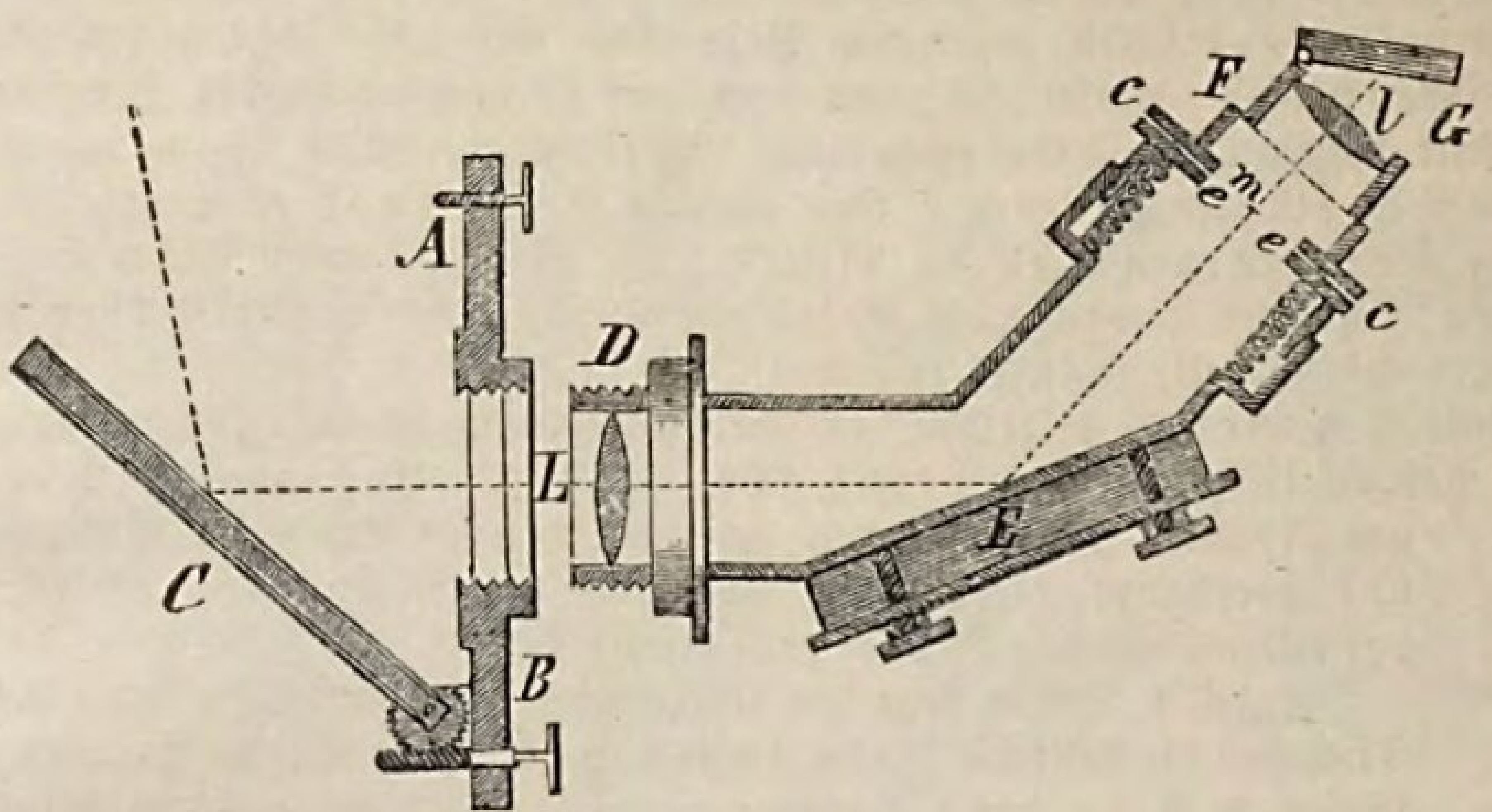
Ad 1. Man legt die betreffende Krystallplatte auf das Tischchen H, stellt die Linsen J und L mittelst der Klemmschraubenhülsen 4, 5 so, daß die erstere ober-, die letztere unterhalb des Tischchens und dieses in der Brennweite beider sich befindet, und ferner die Linsen mit der Krystallplatte genau vertikal übereinander liegen. Betrachtet man hernach das Phänomen durch eine vor dem Analyseur (wozu sich hier am besten die schwarze Glasplatte eignet) angebrachte Sammellinse; so sieht man die Ringsysteme sehr schön, und selbst an den kleinsten Krystallplättchen. Der Zweck dieser Anordnung wird bei Betrachtung der Fig. 705 klar werden, wo P ein optisch einaxiges Krystallplättchen ist, mit dessen Axe die Axen beider Linsen J, L zusammenfallen. Die Linse J macht die vom Polariseur auf sie gelangenden parallelen Strahlen convergent, und an der Krystallplatte P zusammentreffen. Die äußersten Strahlen des so gegen die Krystallplatte convergirenden Strahlenkegels, welche, wie 1, 2, am schiefsten durch diese Platte durchgehen, erzeugen die äußersten und die andern weniger schief durchgehenden die übrigen Ringe. Die aus P divergent austretenden Strahlen werden durch die Linse L parallel und nach der Reflexion von der schwarzen Zerlegungsplatte E durch die Sammellinse B wieder convergirend; im Vereinigungspunkte o muß sich das Auge befinden. Bei entsprechender Brennweite von B kommt dann ein Strahlenkegel ins Auge, bei dem die Strahlen mit seiner Axe einen kleineren Winkel einschließen, als dies bei dem aus der Krystallplatte unmittelbar austretenden Strahlenkegel der Fall ist, und man sieht daher das Ringsystem verkleinert. Der Grad der Verkleinerung hängt natürlich von der Brennweite der Linse B ab; deswegen ist gewöhnlich am Polarisationsinstrumente die Einrichtung getroffen, daß sich die Linse B mit einer zweiten oder dritten, die andere Brennweiten haben, vertauschen läßt. Indem die Linse J nur die vom Polariseur kommenden vertikalen Strahlen in P vereinigt, bewirkt sie, daß an der Krystallplatte nur vollständig polarisirte Strahlen concentrirt werden. Man sieht die Ringe auch gut, wenn die Krystallplatte auf den Spiegel A (Fig. 704) gelegt, darüber die Sammellinse M so fest gestellt wird, daß sich die Platte in ihrem Brennpunkte befindet und man diese dann mittelst eines der beschriebenen Analyseurs betrachtet. Die Platte wirkt da so, als ob sie mit ihrem Bilde im Spiegel vereinigt wäre, d. h. die doppelte Dicke hätte, und die Linse M vertritt die Stelle von zweien.

Fig. 705.



Ad 2. Die Fig. 706 stellt einen recht geeigneten, von Watkins erdachten Projectionsapparat für Polarisationserscheinungen vor. AB ist ein an den Fensterladen eines verfinsterten Zimmers festzumachender Heliostat, und C dessen Spiegel; DEF das in den Heliostat einschraubbare sogenannte Polariskop, bestehend aus einem Winkelrohr, an dem das Eck weggenommen und durch einen festgeschraubten Bündel E untereinander paralleler Glasplatten ersetzt worden, welches gegen die Axen der beiden Theile des Winkelrohrs unter dem Polarisationswinkel für Glas geneigt und der Polariseur ist, der den größten Theil des vom Spiegel C ihm zugeführten Lichtes vollständig polarisirt zurückwirft. Bei ee können Objektenschieber, welche die dem polarisirten Lichte auszusetzenden Gegenstände (Plätt-

Fig. 706.



chen aus Gyps, Salpeter, Glimmer ꝛc.) enthalten, eingeschoben und fixirt werden, und die Vorrichtung dazu gleicht der Hauptsache nach ganz jener, die beim Sonnenmikroskop (**312**) beschrieben wurde. L und l sind Sammellinsen, von welchen die erstere um etwas mehr als um ihre Brennweite und letztere um ihre Brennweite von ee absteht. G ist der ebenfalls aus einem Bündel paralleler Glasplatten bestehende Analyseur, der sich mittelst einer am Ende des Rohres EF aufgesteckten Hülse um die Axe dieses Rohres drehen läßt, um sowohl im reflektirten als im durchgelassenen Lichte die Polarisationserscheinungen darstellen zu können, die dann auf eine dem Analyseur entsprechend gegenüberstehende Wand projicirt werden. Daß die Linsen L und l in Wesenheit ganz den nämlichen Zweck, wie respektive die Linsen J und L in dem früheren durch Fig. **705** anschaulich gemachten Falle zu erfüllen haben, wäre gewiß überflüssig zu erwähnen. Bringt man bei D anstatt der einen Beleuchtungslinse L zwei stark convexe Sammellinsen an, in der Art, wie dies bei dem S. **680** beschriebenen Gasmikroskope an dem in den Kasten K (Fig. **614**) einzuschraubenden Ende der Mikroskopröhre der Fall ist; so kann zu den Versuchen anstatt des Sonnenlichts auch Kalklicht angewendet werden, und man braucht zu diesem Behufe dann nur das Rohr DEF (Fig. **706**) an der Stelle der Gasmikroskopröhre in den (mit dem Daniell'schen Hahn und dem andern für das Kalklicht erforderlichen Zugehör versehenen) Kasten K (Fig. **614**) einzuschrauben. Man kann als Polariseur anstatt des Glasbündels E auch eine schwarze Glasplatte anwenden, die dann vor der Linse L, etwa wo sich jetzt der Spiegel C befindet, anzubringen wäre. Auch ist als Analyseur ein Turmalinplättchen recht vortheilhaft, und dieses wäre dann unmittelbar hinter der Stelle, an welche das dem polarisirten Lichte auszusetzende Object gebracht wird, etwa bei m, in dem Rohrende F einzusetzen. Das ganze Rohr ist dann natürlich gerade, weil der Grund der Winkelform, d. i. der Glasbündel E, wegfällt. Jede der Linsen L, l steht dann ungefähr um ihre Brennweite von der besagten Objektstelle ab und das Glasplattenbündel, versteht sich von selbst, fehlt. Daß und wie sich zu dem in Rede stehenden Zwecke anstatt des Kalklichtes auch das elektrische Licht (mittelst des photoelektrischen Mikroskopes S. 681) anwenden lasse, ist für sich klar.

356. Kreisförmige Polarisation. In allen einaxigen Krystallen findet, wie wir von früher her wissen, längst der Axe weder doppelte Brechung noch Polarisation statt, was auch durch den dunkeln Fleck in der Mitte des Ringsystems und das dunkle Kreuz, oder dadurch bewiesen wird, daß ein polarisirter Strahl, der die Axe eines solchen Krystalls, z. B. eines Doppelspathes durchläuft, bei seinem Austritte aus diesem Krystalle keine Aenderung erlitten hat, indem er, wenn man ihn nachher durch ein Doppelspathprisma leitet, dessen Hauptschnitt der Polarisationsebene des Strahles parallel ist, wie ein jeder andere in der Ebene des Hauptschnittes polarisirte Strahl, nur allein das gewöhnliche Bild gibt. [Siehe (**173**) S. 783]. Eine auffallende Ausnahme von dieser Regel macht aber außer andern Quarzkrystallen vorzüglich der Bergkrystall; denn nach Arago's Entdeckung (**1811**) fehlt an dem Ringsysteme, welches eine Bergkrystallplatte mit senkrecht auf der Axe stehenden Seitenflächen im polarisirten Lichte zeigt, das schwarze Kreuz, und an der Stelle des dunkeln Fleckes in der Mitte des Ringsystems erscheint die Platte gleichförmig gefärbt. Läßt man einen Strahl, der durch eine mit auf der Axe senkrechten Flächen versehene Bergkrystallplatte längst ihrer Axe gegangen ist, in ein Doppelspathprisma treten, so zeigt dieses unter gleichen Verhältnissen, wie vorher, auch das ungewöhnliche Bild; man sieht nämlich durch das Doppelspathprisma zwei Ringsysteme, ferner in der Mitte eines jeden einen farbigen Fleck und die Farben dieser Flecke sind complementär.

Wird der Doppelspath aus seiner eben bezeichneten Stellung herausgedreht, so wird die Färbung der Mitte des ungewöhnlichen Bildes immer dunkler, und endlich, wenn der Drehungswinkel eine gewisse Größe erreicht hat, die von der Dicke der Krystallplatte abhängt und dieser Dicke proportional ist, ganz dunkelviolet, so daß darin die gelben Strahlen völlig verlöscht sind. Aus diesem Versuche ergibt sich der Schluß, daß der gelbe Strahl beim Durchlaufen der Bergkrystallplatte durch diese eine Drehung der ursprünglichen Polarisationsebene erfahren habe, und daß diese Drehung der Dicke der Platte proportional sei. Aus dem Umstande, daß bei der zunehmenden Drehung des Doppelspathes die Farben sich immerfort ändern, so daß z. B. die Mitte des ungewöhnlichen Bildes, wenn es zuerst roth war, nach und nach orange, gelb, gelbgrün und violet wird, folgt weiter der Schluß, daß die besagte Drehung der ursprünglichen Polarisationsebene für verschiedenfarbige Strahlen verschieden groß sei. Ihre Bekräftigung finden diese Schlüsse, wenn die Versuche anstatt mit weißem, mit homogenem (bloß mit rothem, gelbem u. s. w.) Lichte, indem man nämlich vor das Auge ein Glas von möglichst homogener Färbung hält, angestellt werden. Man sieht dann bei entsprechender Drehung das ungewöhnliche Bild immer völlig verschwinden, braucht aber hierzu einen andern Drehungswinkel beim rothen als beim gelben, bei diesem wieder einen andern als beim blauen Lichte u. s. w., und zwar beträgt dieser Drehungswinkel für die brechbareren Strahlen mehr als für die weniger brechbaren; es wird also durch den Bergkrystall die Polarisationsebene der ersteren Strahlen mehr gedreht, als jene der letzteren. Ueberdies findet die in Rede stehende Drehung in verschiedenen Exemplaren von Bergkrystall und Quarz nach verschiedenen Seiten hin Statt, so daß bei mehreren von ihnen, um die beschriebenen Phänomene hervorzubringen, eine Drehung des Doppelspathes nach rechts, bei andern hingegen nach links erfordert wird, während die besagten Exemplare sich sonst nicht wesentlich verschieden zeigen. Man unterscheidet daher auch rechtsdrehenden und linksdrehenden Quarz.

Es leuchtet gewiß von selbst ein, daß die Erscheinungen, welche bei den besprochenen Versuchen mittelst des Doppelspathprismas auf einmal beobachtet werden, an einem Polarisationsinstrumente sich successive immer bei um 90° verschiedenen Stellungen des Analyseurs zeigen werden. In der That erscheint eine senkrecht gegen die Axe geschnittene, auf dem Tischchen **H** des Polarisationsinstrumentes (Fig. 704) liegende Bergkrystallplatte (in der Mitte der Ringe) im Analyseur, z. B. in der schwarzen Spiegelplatte, lebhaft gefärbt; bei Drehung des schwarzen Spiegels ändert sich die Farbe und zwar nach der Ordnung, in welcher die Farben im prismatischen Farbenbilde aufeinander folgen, so daß, wenn der Bergkrystall bei einer bestimmten Stellung des schwarzen Zerlegungsspiegels roth gefärbt ist, diese Farbe bei allmälig immer weiter und in entsprechender Richtung fortgesetzter Drehung des Spiegels nach und nach in Orange, Gelb, Grün und endlich in Violet übergeht, bei um 90° geänderter Stellung des Zerlegungsspiegels zur vorigen complementär ist, niemals jedoch der Art verschwindet, daß der Bergkrystall weiß oder schwarz (dunkel) erscheint. Je nachdem nun die oft besagte Drehung von links nach rechts oder umgekehrt geschehen muß, damit an der Bergkrystallplatte die erwähnte Folge der prismatischen Farben sich zeigt, nämlich Roth in Orange, dieses in Gelb u. s. f. bis ins Violet übergeht, heißt der Krystall ein rechts oder ein links drehender. Es gibt aber auch Quarzkrystalle, welche zugleich nach rechts und nach links drehen.

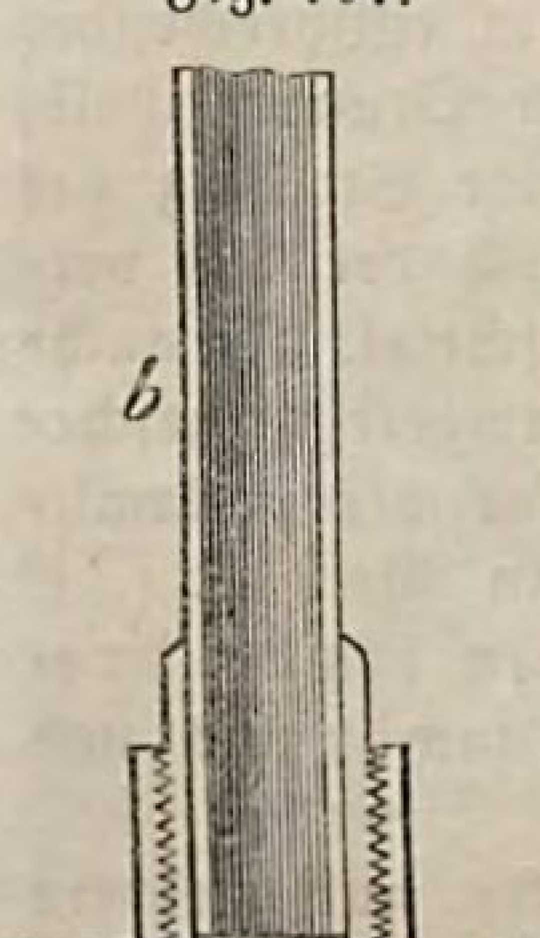
Gleich dem Bergkrystalle bewirken, wie Biot zuerst entdeckte, auch mehrere andere, jedoch flüssige, Körper eine Drehung der Polarisationsebene, einige nach rechts, die andern nach links. Solche Körper sind: Die Lösung verschiedener Zuckerarten, viele ätherische Oele, Lösungen mehrerer Salze und eine große Zahl thierischer und vegetabilischer Flüssigkeiten. Zu den rechts drehenden Flüs-

sigkeiten gehören: Citronenöl, eine Lösung von festem Traubenzucker, Rohrzucker, Runkelrübenzucker, Dextrin (Stärke-Gummi), Kampfer in Alkohol gelöst, Lösungen von Weinsteinsäure; **links** drehende Flüssigkeiten sind: Terpentinöl (tropfbar oder in Dampfform), Kirschlorbeerwasser, eine Lösung von Traubenzucker, so lange er noch im flüssigen Zustande in den Pflanzensäften vorhanden ist und überhaupt noch nicht fest war, Lösungen von arabischem Gummi und von Inulin.

Auch bei allen diesen Stoffen ist, wie beim Bergkrystall, der Winkel der Drehung der Polarisationsebene proportional dem Wege, den das Licht in denselben durchläuft. Allein ihr Drehungsvermögen ist viel geringer als jenes des Bergkrystalls, so daß, während dieser für jeden Millimeter Dicke die Polarisationsebene um 18° dreht, die Drehung bei den andern Stoffen, ebenfalls für 1 Millimeter Dicke, nur 0·01 bis 0·6 Grade beträgt, daher man, um diese Drehung gut wahrnehmbar und meßbar zu machen, die besagten Flüssigkeiten in dickeren (mindestens 6—10 Zoll dicken) Schichten anwenden muß. Daß das Vermögen der angeführten Stoffe, die Polarisationsebene zu drehen (das Rotationsvermögen), da es ein sicheres und einfaches Mittel liefert, diese Stoffe oder ihre Anwesenheit in andern Körpern ohne chemische Analyse zu erkennen und der vorhandenen Menge nach zu bestimmen, in mehrfacher Beziehung einer nützlichen, praktischen Anwendung fähig ist, fällt von selbst in die Augen. So läßt sich nach diesem Rotationsvermögen, nach der Richtung der Rotation (ob sie nach rechts oder nach links geht), und nach der Größe des Rotationswinkels leicht ermitteln: ob in Pflanzensäften, z. B. im Safte der Runkel- oder anderer Rüben Rohrzucker oder ob in denselben Traubenzucker enthalten ist; ob der vorhandene Traubenzucker der betreffenden Flüssigkeit von Natur aus eigen oder künstlich zugesetzt sei (da der künstlich zugesetzte, schon fest gewesene Traubenzucker die Polarisationsebene nach rechts, der von Natur aus im Safte flüssig vorhandene hingegen nach links dreht); ob eine gummihältige Flüssigkeit arabisches Gummi oder Stärkegummi enthält u. s. w. Der Umstand, daß das Rotationsvermögen der zuckerhältigen Flüssigkeiten mit dem Zuckergehalte wächst, gestattet die Bestimmung dieses letzteren, wenn vorher durch Versuche ermittelt worden, welcher Drehungswinkel einem bestimmten, in Prozenten der Flüssigkeit ausgedrückten Zuckergehalte entspricht u. s. w.

Zur Beobachtung der Rotation kann wieder recht gut das Nörrenberg'sche Polarisationsinstrument dienen. Man füllt die betreffende Flüssigkeit in eine mindestens einen halben Zoll weite, oben offene, unten durch eine ebene, von parallelen Flächen begrenzte Glasplatte **a** geschlossene Glasröhre **b** (eine Art, diese Schließung zu bewerkstelligen, zeigt in für sich deutlicher Weise die Fig. 707) und stellt die Röhre auf das Tischchen **H** (Fig. 704) des Instrumentes, nachdem man mittelst der Klemmschraubenhülsen 1, 2 und 3 den Polariseur und das Tischchen an den Säulen **S**, S_1 so tief als thunlich hinabgelassen und fixirt hat, um eine Glasröhre, die durch den Ring **B** hindurchgehen und bis an den Analyseur reichen kann, von möglichst großer Länge anwenden zu können. Zur Abhaltung alles fremdartigen, die Lebhaftigkeit der Farbenerscheinung beeinträchtigen Lichtes muß die Röhre von unten bis oben mit einer undurchsichtigen Hülle umgeben sein, auch ist eine Graduirung an derselben, zum unmittelbaren Ablesen der Höhe der Flüssigkeitssäule, wünschenswerth.

Fig. 707.



Man hat auch für den in Rede stehenden Zweck eigens construirte Apparate, unter welchen sich der von Baumgartner durch Einfachheit und Bequemlichkeit vorzüglich empfiehlt. Er besteht aus

einer Glasröhre (zur Aufnahme der Flüssigkeit), deren Boden eine Glasplatte von homogener z. B. rother Farbe bildet, unter welcher eine Turmalinplatte als Polariseur und darunter, um viel Licht in die Röhre zu bringen, ein Beleuchtungsspiegel, wie bei einem zusammengesetzten Mikroskope, angebracht ist. Die Glasröhre steckt ihrer ganzen Länge nach in einer zur Abhaltung fremdartigen Lichtes dienlichen Metallröhre, deren unterer Deckel das polarisirende Turmalinplättchen enthält, während ein zweites solches analysirendes Plättchen sich im Deckel der obern Metallfassung der Glasröhre befindet. Unten an dieser Fassung, welche man in der den ganzen Apparat etwa im $\frac{1}{4}$ der natürlichen Größe darstellenden Fig. 708 an der aus der Metallröhre m etwas herausgezogen abgebildeten Glasröhre r deutlich sieht, ist ein Zeiger z fixirt, der auf einem getheilten Kreise der Scheibe s in jedem Falle den Winkel angibt, um welchen die obere Turmalinplatte aus der Stellung, bei welcher die Axen beider Turmalinplättchen sich kreuzen und der Zeiger auf Null steht, nach rechts oder nach links gedreht werden muß, damit, während die Glasröhre mit der auf das Rotationsvermögen zu untersuchenden Flüssigkeit angefüllt ist, durch die obere Turmalinplatte eben so wenig Licht dringen kann, als wenn die Glasröhre keine oder eine kein Rotationsvermögen besitzende Flüssigkeit enthielte. Der hierzu erforderliche Drehungswinkel ist natürlich das Maß der Drehung der Polarisationsebene.

Fig. 708.

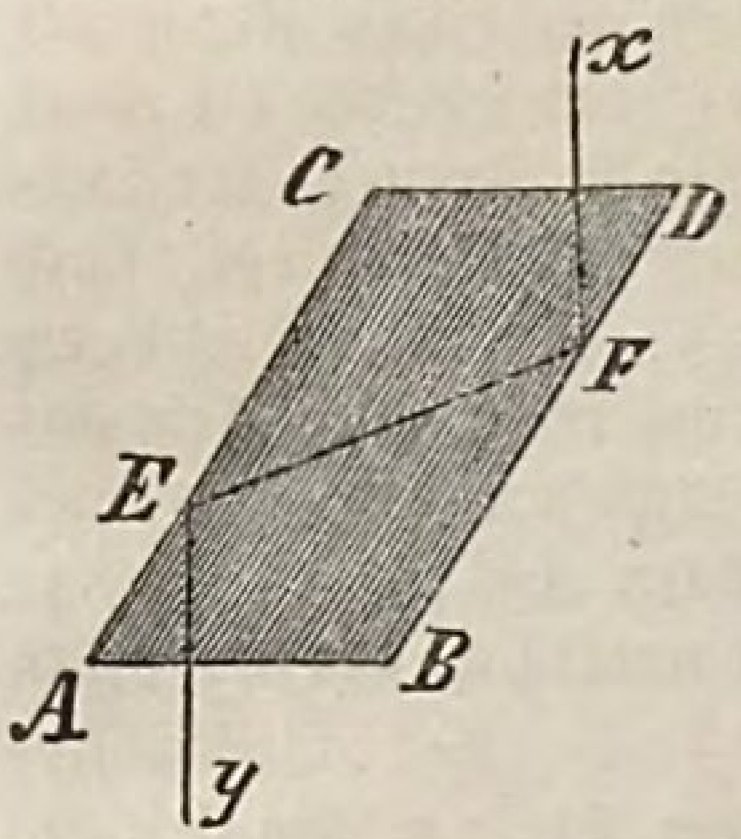


Andere zu demselben Zwecke bestimmte Apparate unterscheiden sich von dem eben beschriebenen in der Hauptsache nur darin, daß die Glasröhre in der undurchsichtigen Hülle horizontal liegt und an beiden Enden anstatt Turmalinplättchen Nicol'sche Prismen vorhanden sind, ferner das homogen farbige Glas fehlt. Daß dann ebenso, wie bei der beschriebenen Anwendung des Nörrenberg'schen Instrumentes, die Rotation der Polarisationsebene nach dem Winkel gemessen wird, um den das analysirende Prisma aus der Stellung gegen das andere, wo in beiden ohne Dazwischensein einer Flüssigkeit die größte Dunkelheit herrscht, gedreht werden muß, damit (beim Dazwischensein der betreffenden Flüssigkeit) das Gesichtsfeld sich wieder am dunkelsten zeigt (von den oben erwähnten prismatischen Farben das dunkelste Violet zum Vorschein gekommen ist), wäre wohl zu bemerken überflüssig.

357. Erklärung der vorherstehenden Rotationserscheinungen nach der Vibrationshypothese. Was diese, wieder dem Scharfsinne Fresnel's zu verdankende Erklärung anbelangt, so müssen wir uns hier bloß auf allgemeine Andeutungen beschränken. Dieser Gelehrte hat gezeigt, daß die besagten Rotationserscheinungen sich erklären lassen, wenn man annimmt, daß die Strahlen, welche längst der Axe des Quarzes oder in den rotatorischen (eine Drehung der Polarisationsebene bewirkenden) Flüssigkeiten fortgepflanzt werden, kreisförmig (circular) polarisirt sind, d. h. (S. 738) daß ihre Aethertheilchen, statt in geraden Linien zu schwingen, sich in Kreisen bewegen, welche Schwingungsart stattfinden kann und nothwendig aus der Interferenz zweier rechtwinkeliger Schwingungen hervorgehen muß, die eine gleiche Amplitude haben, aber um den vierten Theil einer Schwingung verschieden sind, und wenn man ferner voraussetzt, daß vermöge einer besondern Beschaffenheit der Theilchen der rotatorischen Substanzen solche kreisförmige Schwingungen, die von rechts nach links gehen, eine etwas andere Elastizität erfordern, als die in der entgegengesetzten Richtung vor sich gehenden. Ferner hat Fresnel durch einen sehr subtilen, aber befriedigenden und entscheidenden Versuch außer Zweifel gestellt, daß auch ein Bergkrystall jeden nach der Richtung der Axe durchgehenden Strahl in zwei Strahlen spalte, und dieser Versuch, so wie andere Beobachtungen berechtigten ihn weiter zu schließen, daß diese beiden Strahlen der Axe folgen, aber ungleiche Geschwindigkeiten haben; daß ein Krystall ein nach rechts oder nach

links drehender sei, jenachdem in demselben der eine oder der andere der durch die Spaltung entstandenen zwei Strahlen die größere Geschwindigkeit hat, und daß diese Strahlen, wiewohl aus einer wirklichen doppelten Brechung hervorgegangen, rücksichtlich ihrer Eigenschaften doch ganz wesentlich von jenen Strahlen verschieden sind, die sonst insgemein durch doppelte Brechung erhalten werden. Diese Verschiedenheit erhellt aus Folgendem: 1). Jeder der zwei Strahlen gibt beim Durchgange durch ein doppelt brechendes Prisma immer zwei Bilder von gleicher Intensität, welche Lage der Hauptschnitt des letzteren auch haben mag, und in dieser Beziehung gleicht also jeder derselben einem gewöhnlichen unpolarisirten Strahle*). 2). Fällt einer der zwei Strahlen, wie y (Fig. 708), senkrecht auf eine Seitenfläche **AB** eines schiefen Parallelepipedums

Fig. 709.



ABCD aus Crownglas, so wird derselbe, wenn der Winkel bei **A** 54°·5 und das Brechungsverhältniß des Glases 1·51 beträgt, an der Fläche **AC** (in **E**) und desgleichen wenn das Parallelepipedum lang genug ist, auch an der entgegengesetzten Fläche **BD** (etwa in **F**) total zurückgeworfen, so daß er endlich senkrecht aus der obern Fläche **CD** austritt, und der austretende Strahl **F**x zeigt sich, anstatt wie gewöhnliches Licht sich zu verhalten, in einer Ebene vollständig polarisirt, die mit jener einen Winkel von 45° macht, in welcher die Zurückwerfungen geschahen, diese Zurückwerfungsebene mag was immer für eine Lage haben. Werden beide Strahlen auf dieselbe Art behandelt, so zeigt sich die Polarisationsebene des einen 45° rechts und des andern 45° links von der besagten Zurückwerfungsebene gelegen**). Hieraus ersieht man, daß die doppelte Brechung längst der Axe des Quarzes den durch die Spaltung entstehenden zwei Strahlen entgegengesetzte Polarisation (Polarisation unter rechtem Winkel) ertheilt. Aus dem Umstande, daß es bei jedem der zwei Strahlen, so lange er auf das Parallelepiped (auf die Seitenfläche **AB**) senkrecht einfällt, ganz gleichgiltig ist, in welcher Ebene die beiden Zurückwerfungen geschehen, und daß er, wenn ihm ein doppelt brechendes Prisma mit was immer für einer Lage des Hauptschnittes in den Weg gestellt wird, sich immer in zwei Strahlen von gleicher Intensität (Helligkeit) theilt, folgt, daß er nicht, wie ein anderer (geradlinig) polarisirter Strahl, verschiedene Seiten (an verschiedenen Seiten verschiedene Eigenschaften) habe und daß daher der für seinen Zustand gewählte Name kreisförmige Polarisation auch ohne alle Rücksicht auf die zu Grunde gelegte Schwingungsart der Aethertheilchen ganz passend erscheint. 3). Geht ein solcher (aus Quarz austretender) Strahl durch eine dünne Krystallplatte und deren Axe parallel, so wird er durch die erfolgende doppelte Brechung in zwei Strahlen von complementärer Farbe zerlegt und dadurch zeigt er sich von einem gewöhnlichen (unpolarisirten) Lichtstrahle verschieden. Er ist aber auch kein gewöhnlich polarisirter Strahl, weil die besagten Farben nicht mit denjenigen übereinstimmen, die das Plättchen unter sonst gleichen Umständen im gewöhnlich polarisirten Lichte zeigt. 4). Endlich bringt ein solcher Strahl keine Farbenerscheinung hervor, wenn er durch Bergkrystall, Terpentinöl, Citronenöl u. s. w. geht und dann vermittelst eines doppelt brechenden Prismas zerlegt wird. Hierin unter-

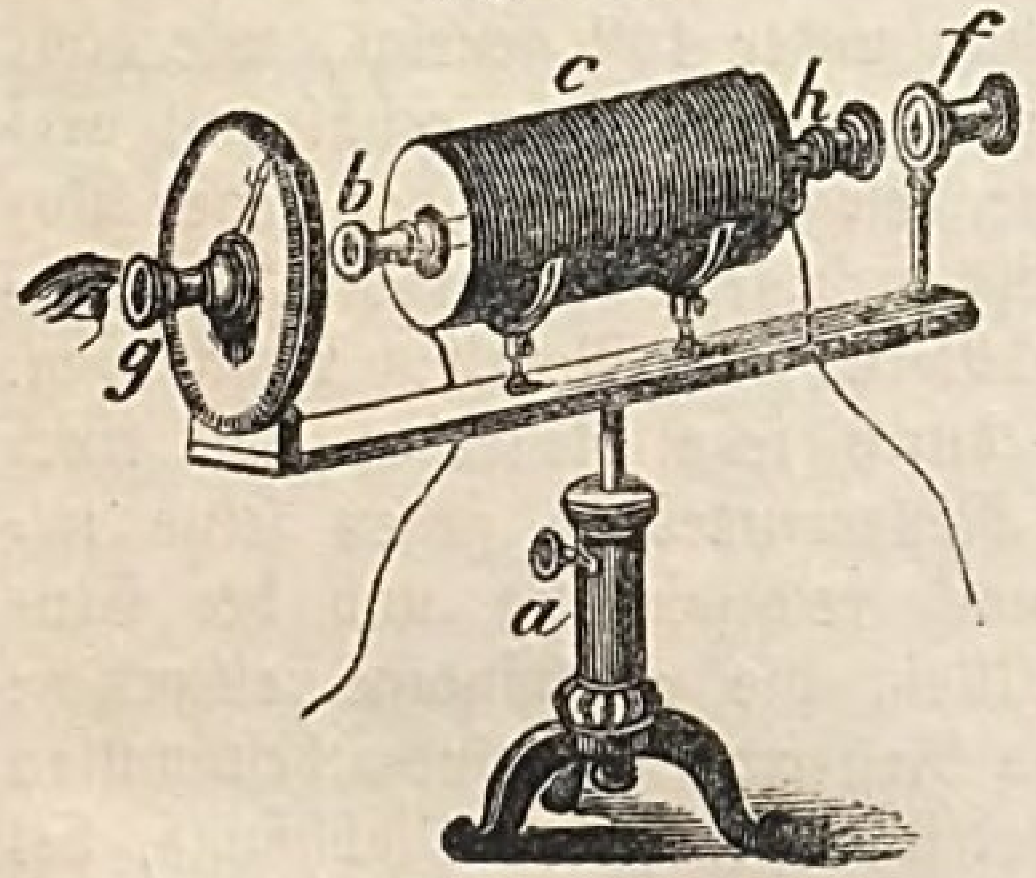
*) In den gewöhnlichen Fällen doppelter Brechung sind beide durch die Spaltung entstehenden Strahlen entgegengesetzt polarisirt und die zwei Bilder, die jeder derselben durch ein doppelt brechendes Prisma gibt, ändern gemäß Seite 782 fortwährend ihre relative Helligkeit, sowie das Prisma durch die verschiedenen Quadranten gedreht wird.

**) Da dieser Versuch zuerst von Fresnel angestellt wurde, so pflegt man das beschriebene Parallelepiped kurz das Fresnel'sche Parallelepiped zu nennen.

scheidet er sich wieder von einem geradlinig polarisirten und stimmt mit einem gewöhnlichen unpolarisirten überein.

358. Drehung der Polarisationsebene durch diamagnetische Körper. Jeder durch eine gehörige Lage gegen starke Magnetpole oder durch kräftige inducirende Wirkung von Seite elektrischer Ströme*) in den diamagnetischen Zustand versetzte durchsichtige Körper (Siehe **182**, ferner **255** u. s. f.) dreht, wie Faraday, der Entdecker des Diamagnetismus, ebenfalls zuerst beobachtete, die Polarisationsebene durch ihn gehender polarisirter Strahlen. Um sich hiervon zu überzeugen, stecke man in die entsprechend weite Höhlung, (wie bei h der früheren Fig. 482) längst der Mitte einer sehr viele Windungen hinreichend dicken Drahtes enthaltenden Inductionsrolle eine an den Enden von parallelen Flächen begrenzte Säule aus einem des Diamagnetismus in höherem Grade fähigen Stoffes, am besten aus, kieselborsaures Bleioxyd hältigem schwerem Glase, bringe an jedem Ende der Säule ein Turmalinplättchen oder ein Nicol'sches Prisma an und stelle beide Plättchen oder Prismen so gegen einander, daß das von dem ersten kommende und durch die Glassäule gegangene polarisirte Licht durch das zweite Plättchen oder Prisma nicht durchgelassen wird, also beim Durchsehen durch letzteres das Gesichtsfeld dunkel erscheint. Werden hierauf die Enden des Drahtgewindes der Inductionsrolle mit einer gehörig starken Volta'schen Batterie in Verbindung gesetzt, so wird das Gesichtsfeld augenblicklich hell, und man muß das eine Plättchen oder Prisma (z. B. das vor dem Auge befindliche) aus seiner vorigen Lage etwas herausdrehen, um wieder die frühere Dunkelheit im Gesichtsfelde herzustellen. Bei Umkehrung der Stromrichtung geht auch die Drehung der Polarisationsebene im entgegengesetzten Sinne. Eben so wie das schwere Glas verhalten sich auch gewöhnliches Flintglas, Steinsalz, Zinnchlorid, Wasser, Schwefelkohlenstoff, u. a. m. Um Flüssigkeiten dem Versuche zu unterwerfen, braucht man sie nur in die Glasröhre des in der früheren Fig. 708 abgebildeten Apparates einzufüllen und diese Röhre dann sammt ihrer undurchsichtigen Hülle (versteht sich nach Hinwegnahme vom Träger) in die besagte Höhlung der Inductionsrolle einzuschieben. Uebrigens zeigt Fig. 710 die ganze Anordnung eines zu diesem Zwecke recht geeigneten, von Böttger zusammengestellten Apparates. c ist die Inductionsrolle, welche 5¼ Zoll lang, in der Höhlung 1½ Zoll weit und mit einem Cylinder aus dünnem Eisenblech ausgefüttert ist, 5 übereinander gewickelte Lagen dicken, wohlisolirten Kupferdrahtes enthält und mit einer mindestens aus 6 Grove'schen Elementen bestehenden Batterie in Verbindung gebracht werden muß; bh ist die an den Enden mit Glasplatten geschlossene, 6—8″ lange, 2—3‴ weite, den flüssigen Körper enthaltende Röhre, f ein feststehendes als Polariseur wirkendes, und g ein drehbares analysirendes Nicol'sches Prisma.

Fig. 710.



*) Es wird nämlich jeder der nicht magnetischen, d. i. des Magnetismus nicht fähigen Körper unter Umständen, unter welchen ein des Magnetismus fähiger Körper magnetisch wird, immer diamagnetisch, also auch unter dem inducirenden Einflusse elektrischer Ströme, vorausgesetzt, daß derselbe kräftig genug ist. Faraday's Hypothese, wornach der Diamagnetismus von elektrischen Strömen herrührt, welche in der betreffenden (diamagnetisch erscheinenden) Substanz inducirt werden und mit den nach Ampere's Theorie in den magnetischen Körpern vorhandenen Strömen gerade entgegengesetzte Richtung haben, macht dies nicht bloß begreiflich, sondern stellt es sogar als nothwendig dar.

359. Elliptische Polarisation. So nannte Brewster einen von ihm entdeckten eigenthümlichen Zustand, in welchem das Licht durch die Wirkung der Metalle versetzt wird und der gleichsam den Uebergang der geradlinigen Polarisation in die kreisförmige bildet. Wird nämlich ein geradlinig polarisirter Strahl von einer spiegelnden Metallfläche unter einem bestimmten Einfallswinkel (z. B. von einer Stahlplatte unter dem Einfallswinkel von 75°) reflectirt, so daß die Reflexionsebene gegen die ursprüngliche Polarisationsebene eine Neigung von 45° hat, so ist der Strahl nach dieser Reflexion kein vollständig geradlinig polarisirter Strahl; denn wird er durch einen Doppelspath geleitet, so gibt er bei jeder Stellung des Hauptschnittes zwei Bilder von ungleicher Intensität, die bei Drehung des Krystalls sich ändert, ohne daß je eines der Bilder ganz verschwindet, und das Nämliche zeigt sich, wenn man den Strahl durch eine Turmalinplatte gehen läßt; es wechselt bei ihrer Drehung auch seine Intensität, aber bei keiner Lage der Platte findet ein gänzliches Verschwinden des einen Bildes statt. Der Strahl ist aber auch kein gemeiner und kein unvollständig polarisirter, weil er, wenn man ihn noch einmal von einer Stahlplatte unter 75° Einfallswinkel reflectirt werden läßt, sich dann in einer einzigen Ebene vollständig polarisirt zeigt, während weder ein gemeiner noch ein unvollständig geradlinig polarisirter Strahl durch eine solche Reflexion von einer der vorigen parallelen Stahlplatte eine vollständige Polarisation erfährt. Der Umstand, daß die Neigung der Ebene, worin der Strahl nach dieser zweiten Reflexion wieder vollständig geradlinig polarisirt erscheint, gegen die Ebene der ersten Reflexion immer weniger beträgt, als der Neigungswinkel (von 45°) der letztgenannten Ebene gegen die ursprüngliche Polarisationsebene, zeigt, daß der in Rede stehende Strahl auch von einem kreisförmig polarisirten Strahle verschieden sei; denn läßt man einen solchen, wie er durch zweimalige totale Reflexion eines geradlinig polarisirten Strahles in einem Fresnel'schen Parallelepiped erhalten wird, in einem andern derartigen Parallelepiped eine zweite, der ersten ganz gleiche doppelte Reflexion erfahren; so wird derselbe hiedurch auch wieder in den Zustand vollständiger geradliniger Polarisation zurückgeführt, aber die neue Polarisationsebene ist zur Ebene der ersten doppelten Reflexion genau unter 45° geneigt, wie diese Reflexionsebene gegen die ursprüngliche Polarisationsebene. Man erhält mit verschiedenen Metallen dieselben Wirkungen, nur die besagte Neigung der neuen Polarisationsebene des aus dem Zustande der elliptischen in jene der geradlinigen Polarisation zurückgeführten Strahles ist nach der Natur des Metalles verschieden.

Ein geradlinig polarisirter Strahl wird durch jede Reflexion von einer Metallplatte elliptisch polarisirt, wenn nur die Reflexionsebene gegen seine ursprüngliche Polarisationsebene weder parallel noch rechtwinkelig und der Einfallswinkel von 0° und 90° verschieden ist. Allein die vollständige elliptische Polarisation erlangt er nur, wenn die besagte Reflexion bei einem bestimmten Einfallswinkel, (welcher von der Natur des reflektirenden Metalles abhängt, bei Stahl 75°, bei Silber 73°, bei Spiegelmetall 76°, bei Wismuth 74°·5, bei Zink 72°·3, bei Quecksilber 75°·27 u. s. w. ist und auch hier der Winkel vollkommener Polarisation heißt) und bei einer bestimmten Neigung (von 45°, 135°, 225° oder 315°) der Reflexionsebene gegen die ursprüngliche Polarisationsebene erfolgt. Elliptisch wird nach Airy auch jeder Strahl polarisirt, der auf eine Bergkrystallplatte nicht parallel mit der Axe auffällt, sondern mit dieser einen Winkel bildet; in dem Falle, wo der Strahl längst der Axe durchgeht, verwandelt sich die elliptische Polarisation in die kreisförmige.

Die Vibrationshypothese erklärt die elliptische Polarisation aus Schwingungen der Aethertheilchen in elliptischen Bahnen (S. 738), die in auf der Richtung des Strahles senkrechten Ebenen liegen, und zeigt, daß solche Schwingungen immer entstehen, wenn zwei unter rechtem Winkel gegen einander po-

larisirte Strahlen in ungleichen Phasenzuständen zusammentreffen, ausgenommen, der Phasenunterschied beträgt ½ Undulation, wo dann aus der Interferenz ein geradlinig polarisirter Strahl hervorgeht, oder es ist dieser Unterschied $\frac{1}{4}$ oder $\frac{3}{4}$ Undulation und beide Strahlen haben zugleich einerlei Intensität, in welchem Falle kreisförmig polarisirtes Licht resultirt. Weiter in die Erscheinungen der elliptischen Polarisation und ihre theoretische Begründung einzugehen, liegt wieder außer der Bestimmung und den Grenzen dieses Buches.

360. Farbenerscheinungen an gepreßtem oder geglühtem Glase. Da, wie wir von früher **344** her wissen, nach einer Seite zusammengedrücktes oder stark erhitztes und nachher schnell abgekühltes Glas die Eigenschaft der doppelten Brechung besitzt, so muß es, in den besagten Zuständen dem polarisirten Lichte ausgesetzt, offenbar auch Farbenerscheinungen darbieten, wie doppelt brechende Krystalle, und aus den nämlichen Gründen, wie diese. In der That zeigt ein Glaswürfel oder eine quadratische Platte aus dickem Spiegelglase in einer kleinen Presse, (in Fig. 711 ist eine solche, diesem Zwecke entsprechende und aus Eisen bestehende, im ¼ der natürlichen Größe abgebildet) zusammengedrückt und nachher sammt der Presse auf das Tischchen des Polarisationsinstrumentes gelegt, oder zwischen zwei Turmalinplatten gebracht, bei gehöriger Stellung des Analyseurs schöne, lebhafte Farben (Fig. 712), die sich mit dem Drucke ändern, bei Drehung des Analyseurs um 90° in die complementären übergehen und bei Aufhebung der Pressung des Glases sogleich gänzlich wieder verschwinden. Aehnlich verhält sich auch ein mit den Händen oder in einer dazu passenden Presse gebogener Glasstreifen im polarisirten Lichte; er zeigt die Farben, wie sie die Fig. 713 bei I und II anschaulich macht.

Fig. 711.

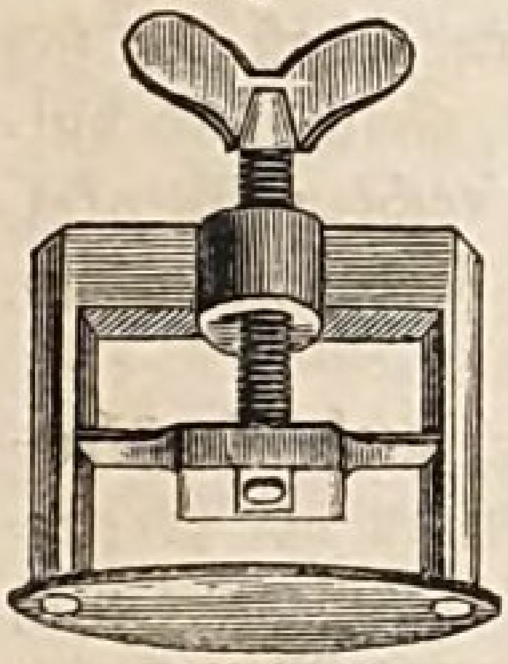
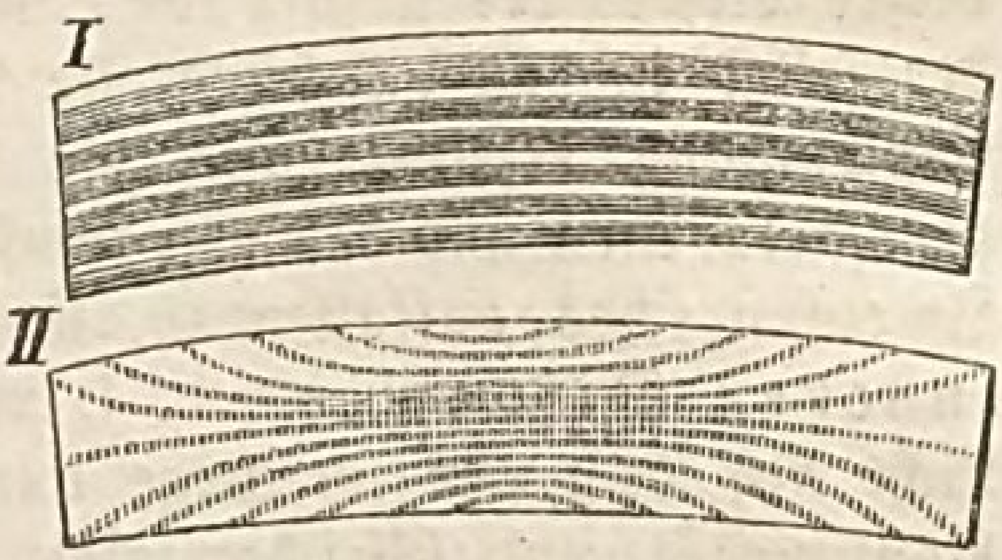


Fig. 712.



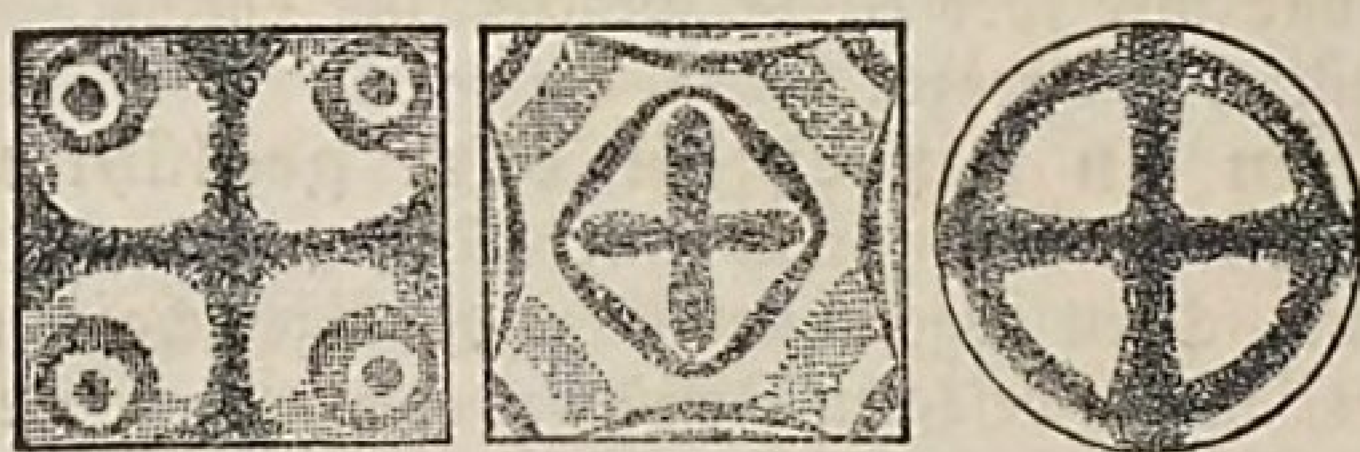
Fig. 713.



Legt man einen rechteckigen Streifen aus dickem Spiegelglase mit dem einen Rande an ein stark erhitztes Eisen an, und bringt dann beides auf den Tisch des Polarisationsinstrumentes so, daß die polarisirten Strahlen senkrecht auf die Fläche des Streifens fallen; so sieht man, indem die Wärme durch das schlecht leitende Glas langsam fortschreitet und darin die Dichten der nacheinander folgenden Schichten allmälig ändert, von dem besagten Rande aus farbige Streifen durch das Glas sich verbreiten, welche bei Drehung des Analyseurs um 90° in die complementären übergehen, bei Erhitzung des Glasstreifens und Anlegung desselben an kaltes Eisen in umgekehrter Ordnung nach einander folgen und immer verschwinden, sobald der Glasstreifen in seiner ganzen Ausdehnung eine gleichförmige Temperatur angenommen hat. Erhitzt man einen Glascylinder (von etwa 1″ Länge und ½″ Dicke) so, daß die Wärme entweder von seinem Umfange gegen die Axe oder in umgekehrter Richtung allmälig und gleichmäßig vorschreitet (zu dem einen Behufe stecke man ihn in einen erhitzten Eisenring, zu dem andern fülle man eine längst seiner Axe vorhandene und etwa bis an den Mittelpunkt reichende Bohrung mit erhitztem Quecksilber); so zeigt er, auf das mehrerwähnte Tischchen des Polarisationsinstrumentes gestellt, bei einer bestimmten Stellung des Analyseurs concentrische Farbenringe mit einem schwarzen Kreuz, ganz wie sie in der früheren Fig. 701 bei I abgebildet sind. Durch eine Drehung des Analyseurs um 90° wird jede Farbe in die complementäre und das schwarze Kreuz in ein weißes verwandelt. Auch dieses Phänomen verschwindet, wie die Erwärmung des

ganzen Cylinders eine gleichförmige geworden ist. Diese eben besprochenen vorübergehenden Wirkungen der Wärme lassen sich dadurch bleibend machen, daß man die Glaskörper nach der vorhergegangenen starken Erhitzung plötzlich abkühlt. In Fig. **714** sind Zeichnungen, wie man sie an so behandelten Glaswürfeln und Glascylindern beobachtet, wenn die polarisirten Strahlen senkrecht darauf fallen und eine Fläche zur Polarisationsebene parallel ist. Sehr schöne Farbenerscheinungen werden erhalten, wenn man in besagter Weise gekühlte länglich-rechteckige Streifen aus dickem Spiegelglase auf dem Tische des Polarisationsinstinmentes so übereinander legt, daß sie sich kreuzen. Sind die Streifen an Größe und sonstiger Beschaffenheit gleich und halbirt die Polarisationsebene der auffallenden Strahlen einen der rechten Winkel, welche die Ränder der Streifen mit einander bilden, so ist die Erscheinung am schönsten und regelmäßigsten.

Fig. **714**.



361. Absorbtion des Lichtes im Allgemeinen und insbesondere des polarisirten. Aus 288 wissen wir, daß von dem an der Grenzfläche zweier Mittel anlangenden Lichte immer ein Theil in das frühere (alte) Mittel zurückgeworfen wird und der andere in das folgende (neue) Mittel eintritt. Ist das neue Mittel undurchsichtig, so wird von demselben alles nicht zurückgeworfene Licht absorbirt; ist es hingegen durchsichtig, so erfährt ein Theil dieses Lichtes die Absorbtion, und der Rest geht durch das Mittel durch, so daß der selbst in das durchsichtigste Mittel eintretende Lichtantheil darin immer eine Schwächung erleidet und die Summe der Intensitäten des durch das Mittel durchgelassenen und des von demselben reflektirten Lichtes immer kleiner ist, als die Intensität des auffallenden. Es kommt diese Schwächung vorzugsweise von der inneren Dispersion d. i. von ununterbrochenen Zerstreuungen her, die das Licht auf dem ganzen Wege durch das Innere eines Körpers wegen Mangel an Continuität und Gleichartigkeit der Masse des letzteren erfährt, und wächst mit diesem Mangel und mit der Länge des besagten Weges. Uebrigens wirken die Mittel in der Regel nicht auf alles farbige Licht gleich stark absorbirend, sondern verschlucken gewisse farbige Strahlen mehr als andere, so daß das in ein durchsichtiges Mittel eintretende Licht bei seinem Austritte aus demselben nicht nur in Bezug auf Intensität, sondern auch rücksichtlich seiner Farbe verändert erscheint, und es wird offenbar in dem nach erfolgter Absorbtion übrig gebliebenen Lichte jene Farbe vorherrschen, welche im Verhältniß zu ihrer Intensität im geringsten Maße absorbirt worden ist. Das Weitere über die objektiven Farben der Körper im durchgelassenen Lichte, so wie der Körper überhaupt, wurde schon in **299** abgehandelt. Offenbar sind die zahllosen dunkeln Linien, welche im Spektrum vorhanden sind, wenn man Licht, das, unmittelbar durch ein Prisma zerlegt, keine solche Linien zeigt, bevor es auf das zerlegende Prisma gelangt, durch Joddampf oder andere bestimmte Mittel gehen läßt (man sehe das Ende des Absatzes **300** auf S. 650) und wahrscheinlich auch die Fraunhofer'schen Linien Resultat der Absorbtion gewisser Strahlen, im ersteren Falle von Seite der besagten Mittel, im letzteren von Seite der atmosphärischen Luft.

Die oben erwähnte innere Dispersion begründet auch Erscheinungen anderer ganz eigenthümlicher Art. So ist sie die Ursache, warum, wenn man (nach Brewster) in eine alkoholische Lösung des Pflanzengrüns, z. B. der Blätter, durch eine Linse concentrirtes Licht hineinleitet, den Pfad der Strahlen darin blutroth bezeichnet findet, und warum verschiedene Varietäten von Flußspath, im reflectirten Lichte angesehen, zwei Farben, eine innere und eine äußere, zeigen, wie der Flußspath von Alstor Moor in gewissem Lichte

grün und blau erscheint. Mit diesen Erscheinungen in eine und dieselbe Klasse gehört auch die von Herschel entdeckte Epipolisirung des Lichtes. Wird nämlich eine im durchgelassenen Lichte vollkommen durchsichtig und farblos erscheinende Lösung von schwefelsaurem Chinin unter gewissen Incidenzen des Lichtes betrachtet, so zeigt sie eine schön himmelblaue Farbe. Diese Farbe kommt, nach Herschel, nur aus einer Schichte der Flüssigkeit von kleiner, aber endlicher Dicke, dicht an der Oberfläche, durch welche das Licht eintritt. und es rührt die Erscheinung von der Dispersion im Innern der besagten Schichte her. Nach dem Durchgange durch diese Schichte hat das Licht das Vermögen zur Hervorbringung desselben Effektes verloren und muß als von dem ursprünglichen Lichte qualitativ verschieden betrachtet werden .... (†). Herschel nannte die in Rede stehende, zunächst der Oberfläche stattfindende und die blaue Farbe der Chininlösung erzeugende Dispersion epipolisch, und das Lichtbündel, welches durch diese Lösung gegangen und dadurch unfähig geworden ist, ferner eine epipolische Dispersion zu erleiden, epipolisirt. Stokes, welcher die Epipolisirung einer umfassenden Untersuchung unterwarf, fand, daß die dabei vor sich gehende Veränderung des Lichtes (†) nur in einer Verminderung seiner Brechbarkeit bestehe, so daß epipolisirtes Licht nichts anders ist als Licht, welches durch innere Dispersion von Strahlen hoher Brechbarkeit gereinigt worden; daß übrigens die Eigenschaft, eine solche Aenderung der Brechbarkeit des einfallenden Lichtes zu bewirken, außer dem schwefelsauren Chinin noch einer großen Zahl anderer Substanzen zukomme, und daß letztere ihre Farbe und überhaupt ihr Ansehen zum Theil dieser Eigenschaft verdanken. Außer dem schwefelsauren Chinin, dem Pflanzengrün und den Flußspath-Varietäten, die schon oben angeführt wurden, sind bezüglich innerer Dispersion unter andern vorzugsweise die folgenden Substanzen merkwürdig. (Die Farbe des Lichtes, welches durch eine jede dieser Substanzen dispergirt wird, ist in der, der Benennung der betreffenden Substanz unmittelbar folgenden Einklammerung namhaft gemacht.) Alkoholische Lösung von Guajac (violet); Curcumatinktur (grünlich); alkoholisches Extrakt von Stechapfelsamen (lebhaft blaßgrün); eine ätherische Lösung von Orseille (orange, grün und roth); eine Art gelben böhmischen Glases, Kanarienglas genannt (lebhaft grün); fast alle im durchgelassenen Lichte farblosen Gläser (am gewöhnlichsten schön grün); ein Absud von Krapp mit einer Alaunlösung (gelb); gelber Uranit (grün).

Uebrigens gelangte Stokes bei seinen Untersuchungen über innere Dispersion unter andern auch zu den bemerkenswerthen Resultaten: daß die Natur und Intensität des innerlich dispergirten Lichtes vom Polarisationszustande der einfallenden Strahlen ganz unabhängig sei und daß dispergirtes Licht, gleichviel ob die einfallenden Strahlen polarisirt sind oder nicht, keine Spur von Polarisation zeige.

Man erklärt sich nach der Vibrationshypothese die Lichtabsorbtion und ihren Einfluß auf die Farbe der Körper folgender Maßen. Einestheils kann ein Mittel wegen der eigenthümlichen Beschaffenheit, die der Aether in demselben zu Folge der Molekularwirkung zwischen ihm und den Körpertheilchen hat, nicht jede Schwingungsart fortpflanzen, anderestheils entstehen durch die unzähligen Reflexionen, die das Licht an den Massetheilchen im Innern des Körpers nach allen Richtungen hin erfährt, unendlich viele Lichtwellen. Ist die Anordnung der Massetheilchen in dem Körper eine regelmäßige, und sind die gegenseitigen Abstände dieser Theilchen gleich, so können einige der vorbesagten Wellen mit andern entweder unmittelbar oder nachdem diese zurückgeworfen und nachher wieder auf die vorige Richtung gebracht worden sind, (wie bei dünnen Plättchen die direkt durchgelassenen Strahlen mit andern erst nach mehreren Reflexionen und Brechungen durchgegangenen) regelmäßig interferiren, so daß immer nur Wellen von gewisser Länge, Schwingungem von gewisser Dauer, d. h. Lichtstrahlen von gewisser Farbe [(†) Seite 738] wenig geschwächt oder verstärkt durchgehen, während andere sehr stark geschwächt oder völlig vernichtet werden. Daß aus den dieser Erklärung zu Grunde gelegten Sätzen sich zugleich auch die Erklärung der Farben, welche die Körper im reflektirten Lichte zeigen, ergibt, leuchtet von selbst ein. Was die Absorbtion polarisirter Strahlen anbelangt, so haben wir diese schon beim Turmalin kennen gelernt (S. 783), indem wir gehört haben, daß eine parallel zur Axe geschnittene Platte dieses Minerals von jedem in ihr doppelt gebrochenen Strahl den gewöhnlichen, in der Richtung der Axe polarisirten Theil absorbirt. Aehnliches findet nun auch bei andern doppelt brechenden

Krystallen, z. B. dem Rauchtopase statt, der den ungewöhnlich gebrochenen Antheil absorbirt. Hieher gehört auch der Dichroismus, d. i. die Eigenschaft gewisser doppelt brechender Körper, im durchgelassenen Lichte nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Färbung zu zeigen. So erscheint der Turmalin nach einer zur Axe parallelen Richtung anders gefärbt als nach einer darauf senkrechten, und der Dichroit, der hievon auch den Namen hat, sieht längs seiner Axe röthlich und senkrecht darauf blau aus. Es haben diese Phänomene sicherlich ihren Grund darin, daß in den betreffenden Körpern die zwei durch Doppelbrechung entstehenden Strahlen schon an und für sich verschiedene von ihrer Neigung gegen die Brechungsaxe abhängige Farben haben, und daß ferner nach verschiedenen Richtungen verschiedenfarbige Strahlen absorbirt werden.

Noch auffallender ist die in Rede stehende Erscheinung des Dichroismus im polarisirten Lichte, indem man beim Durchsehen durch ein und dasselbe Paar paralleler Flächen, je nach der Lage der Polarisationsebene (je nachdem z. B. der Krystall parallel oder senkrecht zur Polarisationsebene eines durch einen Spiegel polarisirten Strahles gehalten wird) zwei verschiedene Farben bemerkt. Eine für die Beobachtung des Dichroismus sehr brauchbare, einfache Vorrichtung ist die auf S. 786 beschriebene dichroskopische Loupe. Befindet sich nämlich vor der viereckigen Oeffnung derselben ein mit Dichroismus begabter Körper und man schaut durch die runde Oeffnung der Loupe, so sieht man die zwei an den Rändern sich berührenden Bilder der viereckigen Oeffnung verschieden gefärbt.

Nach Herschel zeigt der Condierit nach drei auf einander senkrechten Richtungen verschiedene Farben, also Trichroismus; das Gleiche thut der Topas u. s. w. Schleift man von den Krystallen, welche die hierher gehörigen Erscheinungen zeigen, Kugeln, so gewahrt man nebst den reinen oder Grenztinten auch alle dazwischenliegenden, man bemerkt somit mehrere Farben, weswegen Haidinger zur Bezeichnung des ganzen Verhältnisses das Wort Pleochroismus vorschlägt.

362. Chemische Wirkungen des Lichtes. Wirkungen dieser Art hat die Chemie in großer Anzahl aufzuweisen. Viele und mannigfaltige, dem Chemiker, in dessen Gebiet sie auch gehören, wohlbekannte Verbindungen und Scheidungen werden durch bloßes Licht bewirkt, andere durch dasselbe mindestens beschleunigt. Es findet aber rücksichtlich dieser chemisch wirkenden Eigenschaften bei den verschiedenfarbigen Lichtgattungen ein auffallender Unterschied statt. Während Hornsilber oder Chlorsilber (wie es durch Fällen einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd, sogenannten Höllenstein, durch Kochsalz erhalten wird) im violeten Theile des Spektrums sehr schnell seine ursprünglich weiße Farbe verliert, allmälig immer dunkler, in ganz kurzer Zeit violet und endlich schwarz wird, geht diese Wirkung im blauen Theile des Spektrums weit langsamer und schwächer vor sich, und im rothen Theile erleidet das Hornsilber nur eine äußerst geringe, ja fast gar keine Veränderung. Sehr interessant ist die Entdeckung Becquerels, daß farbige Strahlen, welche keine chemische Wirkung hervorzurufen (einzuleiten) im Stande sind, eine durch andere Strahlen bereits eingeleitete derlei Wirkung fortzusetzen vermögen, so daß er chemische Aktion erregende und diese Aktion fortsetzende Strahlen unterscheidet. So wird z. B. Jod- oder Bromsilber durch die rothen und gelben Strahlen gar nicht verändert; hat es aber im Tages- oder violeten Lichte bereits eine Veränderung erfahren, so schreitet diese unter der Einwirkung von rothem oder gelbem Lichte immer weiter fort. Eben so ist es merkwürdig, daß die oben besagte Schwärzung noch rascher und vollkommener als im violeten Theile des Spektrums zunächst außerhalb der violeten Grenze des letzteren stattfindet, so daß es scheint, als gäbe es Strahlen, die in einem noch höheren Grad brechbar sind als die äußersten violeten, aber auf unser Auge nicht mehr einwirken, sich hingegen durch chemische Wirkung merklich machen können. Es wird dem Vorstehenden zu Folge nun klar sein, was man

sich unter chemischen Strahlen, wo immer von ihnen die Rede sein sollte, vorzustellen habe.

Die empfindlichste Substanz für Licht ist, nach Schönbein, Jodbleikleister, welcher erhalten wird, wenn man Stärkekleister gewöhnlicher Dicke mit so viel (aus Jodkalium und Bleisalpeter frisch bereiteten) Jodblei mengt, daß derselbe stark gelb erscheint. Im direkten Sonnenlichte wird er sehr schnell schwarzblau, im zerstreuten Lichte geht er durch Grün in das Schwarzblaue über.

363. Daguerreotypie; Photographie; Niepçotypie. Unter allen chemischen Wirkungen des Lichtes sind jene von höchstem Interesse und zugleich auch am meisten in das Bereich der Physik einschlagend, welche der im Jahre 1838 von Daguerre in Paris entdeckten und seither ungemein erweiterten und vervollkommten Kunst, in der Camera obscura erzeugte Bilder zu fixiren, oder allgemeiner gesprochen, mittelst des Lichtes zu zeichnen und die erhaltenen Zeichnungen bleibend zu machen, zu Grunde liegen, und welche in gewissen Veränderungen der chemischen Beschaffenheit bestimmter, in dieser Beziehung für das Licht sehr empfindlicher Silbersalze bestehen. Es liefert diese Kunst die in Bezug auf Zeichnung bis ins kleinste Detail getreuesten Copien der verschiedenartigsten Natur- und Kunstgegenstände und kann in so ferne auch dem Techniker (dem Baukünstler z. B. zur Aufnahme der architektonischen Schönheiten eines Bauwerkes u. dgl.) von mannigfaltigem Nutzen sein. Der allgemein passendste Name für die in Rede stehenden Lichtbilder ist unstreitig der Name Photographie, d. i. Lichtzeichnung; es ist jedoch Gebrauch geworden, diese Benennung vorzugsweise den auf Papier erzeugten Lichtbildern (deren Erfinder Talbot ist und welche deswegen, obgleich seltener, auch Talbotypien genannt werden) beizulegen und jene auf Metall (wie die von Daguerre zuerst angefertigten es waren) Daguerreotypien zu heißen. Demnach ist es offenbar ganz consequent, die Lichtbilder, welche in neuester Zeit auf Glas erzeugt werden, nach ihrem Erfinder Niepçe, Niepçotypien zu nennen. Mit dem Worte Daguerreotypie, Photographie, Niepçotypie wird zugleich die betreffende Lichtbilderzeugung selbst bezeichnet.

1. Daguerreotypie. Das Metall, worauf, wie oben gesagt, die Daguerreotypien dargestellt werden, ist eine silberplattirte, d. i. auf der einen Fläche mit einer dünnen Silberschichte überzogene Kupferplatte. Die Darstellung des Bildes auf derselben zerfällt in folgende Operationen: 1. Reinigen der Platte (der Silberoberfläche); 2. Chemische Präparirung der Platte, d. i. Ueberziehen ihrer Silberoberfläche mit einer für die chemische Kraft des Lichtes möglichst empfindlichen Schichte; 3. Exposition der Platte in der Camera obscura (Erzeugung des Bildes auf der Platte durch Einwirkung des vom zu copirenden Gegenstande kommenden Lichtes auf die empfindliche Schichte); 4. Quecksilbern der Platte, d. i. Sichtbarmachen des in der Camera erzeugten Bildes mit Quecksilberdämpfen, und 5. Fixiren des (sichtbar gemachten) Bildes. Ich will hier unter den sehr zahlreichen, mehr oder weniger differirenden Vorschriften, welche seit Erfindung der Daguerreotypie bis auf den heutigen Tage zur Vollführung der aufgezählten fünf Operationen von verschiedenen Seiten her empfohlen wurden, diejenige auswählen und mittheilen, von deren Verläßlichkeit und vorzüglicher Brauchbarkeit ich mich durch eigene Erfahrung überzeugt habe, und welche in Folgendem besteht.

Ad 1. Das Reinigen der Platten zerfällt in das Vorputzen, Glänzen und Fertigputzen. Das Vorputzen geschieht, die Platte mag noch neu oder schon gebraucht und ein darauf befindliches Bild vor ihrem abermaligen Gebrauche früher zu entfernen sein, mit möglichst gereinigtem Olivenöl und fein gepulvertem Wienerkalk, indem man etwas auf die Silberfläche der Platte getropftes Oel und etwas dazu gebrachten Wienerkalk, der aus einem mit Musselin oder doppeltem

Tüll zugebundenen Pulverglase (weithalsigem Fläschchen) durch den Musselin- oder Tülldeckel hindurch auf die Platte gesiebt wird *), mittelst Baumwollbäuschchen anfangs in kleinen, einander mannigfaltig durchschneidenden Kreisen herum, zuletzt aber in geraden Strichen von der Linken zur Rechten und umgekehrt so lange reibt, bis die Baumwolle ganz schwarzgrau geworden ist **). Nun wird die Platte zum Behufe ihrer Entfettung mit Weingeist und Wienerkalk gerade so behandelt, wie dies vorher mit Oel und Wienerkalk geschah und diese Behandlung (mit Weingeist und Wienerkalk) mindestens einmal wiederholt. Das Glänzen der Platte, welches jetzt folgt, geschieht, indem sie zuerst in ganz ähnlicher Weise, wie eben vorher, jedoch nur einmal mit Weingeist und sehr feinem Pulver von Engelroth (Polirroth, **Rouge, Caput mortuum**) und nachher mit trockenem Engelroth und einer Feile aus Leder so behandelt wird, daß man etwas Engelroth auf die Platte und auf die Lederfläche der Feile gibt und mit dieser dann in geradlinigen Strichen über die Platte hin- und herfährt ***). Man dreht, während die Feile immer die nämliche Richtung behält, die Platte zugleich mit dem Putzklotz um die Axe des letzteren langsam herum, so daß die Feile allmälig die Platte nach allen Richtungen bestreicht, und endigt nachher damit, daß man zuletzt mit der Feile über die ganze Platte immer nach der nämlichen Richtung hin- und herstreicht, nach welcher schon am Schlusse des Vorputzens mit dem Baumwollbäuschchen gerieben wurde...(†). Das Fertigputzen endlich wird folgender Maßen bewerkstelligt. Man putzt zuerst ganz in der Art, wie es früher mit Baumwolle, Weingeist und Wienerkalk geschehen, 1 oder 2 Mal mit Baumwolle, käuflichem Salpeteräther (**spiritus nitri dulcis**) und Knochenpulver, hierauf mehrere Male bloß mit Baumwolle und Knochenpulver ****). Hierauf folgt Putzen mit einem

*) Alle pulverigen Körper, von denen, als zum Reinigungsprozeß dienlich, in der Folge noch die Rede sein wird, werden ganz in derselben Art aufbewahrt und auf die Platte gebracht, wie der Wienerkalk.

**) Die Platte ist während dieses Vorputzens und des ganzen weiter folgenden Reinigungsverfahrens auf der oberen ebenen Fläche eines cylindrischen Holzklotzes befestigt. Auf dieser Fläche, die nur eine etwas kleinere Ausdehnung als jene der Platte hat, ist nämlich eine dünne Kautschukplatte dadurch festhaften gemacht, daß sie an der einen Seite gehörig mit Terpentinöl benetzt, hiernach an die Klotzfläche angedrückt und dann unter Fortdauer dieses Druckes in gelinder Wärme getrocknet worden. Macht man nachher die Kautschukplatte auch auf der zweiten nun oberen Seite durch Befeuchten mit Terpentinöl klebrig, so haftet die, natürlich mit der Kupferfläche, angedrückte Metallplatte fest, und läßt sich so, während der Holzklotz mit der linken Hand gehalten wird, ohne selbst irgendwo mit der Hand berührt zu werden, bequem putzen. Die Baumwolle zu den Bäuschchen muß möglichst rein und frei sein von allen Knötchen, so wie von allen härteren und frembartigen Körperchen, welche Risse in die Silberoberfläche machen könnten.

***) Die Feile besteht aus einer flachen, etwa 10—12″ langen, 1½—2″ breiten, ½″ dicken und mit einem Handgriffe versehenen Holzschiene, die auf der einen ebenen Fläche zuerst mit anderem weichen Leder und hierauf mit Rehleder überspannt ist, welches vorher in Weingeist, oder, noch besser, in Schwefeläther gereinigt (gewaschen) und dann vollkommen getrocknet worden. Das Trocknen des Engelroths geschieht, indem man dasselbe auf Papier und mit diesem auf eine alte, zu Lichtbildern nicht mehr brauchbare Platte bringt, die auf einem geeigneten Träger durch eine darunter gestellte kleine Weingeistlampe erhitzt wird.

****) Das Knochenpulver muß möglichst fein und vollkommen trocken sein. Das Trocknen soll, nach Martin, am besten dadurch vorgenommen werden, daß man das fein geriebene und nöthigenfalls geschlemmte Schafknochenpulver mit dem stärksten käuflichen Weingeiste in einer Porzellanschale zu einem nassen Teig zusammenreibt und den Spiritus hierauf angezündet, während des Brennens, besonders wenn das Pulver schon anfängt trocken zu werden, leise mit einer Spatel umrührt, die sich bildenden Knollen vorsichtig zerdrückt und nachdem der Spiritus ausgebrann tist, das Pulver in das betreffende, nachher mit zweifachem feinen Tüll zuzubindende Gläschen einfüllt. Es ist zu dem Putzen

ledernen Ballen und sehr wenig trockenem Knochenpulver. Der Ballen besteht aus einer runden ebenen Holzscheibe von 2—4″ Durchmesser, die am Umfange eine nicht zu tiefe Nuth eingedreht und in der Mitte der einen Fläche und senkrecht auf diese eine Handhabe eingesetzt enthält. Auf der zweiten Fläche ist ein mit dieser gleich großer Filzfleck aufgeleimt und darüber mittelst in der besagten Nuth laufenden Bindfadens weiches ebenfalls mit Weingeist oder Schwefeläther gereinigtes und nachher gut getrocknetes Rehleder, gut angespannt, festgebunden *). Endlich wird das Poliren der Platte mit einem zweiten, dem vorigen ganz gleichen Lederballen vollendet: mit diesem ganz allein (also ohne Anwendung von Knochen o. dgl) wird die Platte in ihrer ganzen Ausdehnung, aber nur nach der besagten geradlinigen Strichrichtung gerieben. Wird die Platte nachher angehaucht und der Hauch erscheint überall gleichförmig, bläulich-durchsichtig, verschwindet sehr schnell und von allen Seiten gegen die Mitte der Platte hin gleichmäßig; so ist die Politur und die ganze Zurichtung der Platte eine vollkommene. Auch muß diese, jetzt in der Richtung angesehen, in welcher man ein fertiges Bild zu betrachten pflegt, völlig schwarz erscheinen, (also sonst kein Licht zerstreut zurückwerfen) und darf keine Flecken zeigen, wenn man stark beleuchtetes weißes Papier in ihr abspiegeln läßt **).

Ad 2. Chemische Präparirung der Platte, (wir wollen diese Operation immer kurz mit dem Worte Jodiren bezeichnen). Hierzu dient Jodbromür wie es erhalten wird, wenn man trockenes, fein pulverisirtes Jod so

---

mit Knochen allein immer ganz frische und gut getrocknete Baumwolle zu nehmen. Ueberhaupt mag hier gelegenheitlich die Bemerkung Platz finden, daß ein zu irgend einer der Putzoperationen bereits gebrauchtes Baumwollbäuschchen nie zu einer ihr nachfolgenden derartigen Operation verwendet werden darf, man aber wohl um Baumwolle zu sparen, Bäuschchen, die für eine bestimmte Putzoperation schon zu sehr verunreinigt sind, zu einer der gehörigen Ordnung nach vorhergehenden Operationen benützen könne. Das Trocknen der Baumwolle geschieht am besten in einem Cylinder aus weitmaschigem Drahtnetze, der in einem andern, von unten durch eine Weingeistlampe erwärmten Cylinder aus Eisenblech steckt, und von dessen Wänden überall etwa zollweit absteht; daß hiebei die Baumwolle öfters umzuwenden sei, versteht sich von selbst. Die so getrockneten Putzmaterialien (Knochen und Baumwolle) und desgleichen die ledernen Putzballen, von denen sogleich gesprochen werden wird, sind außer der Zeit, wo sie gerade gebraucht werden, immer in einer geschlossenen Schachtel oder in einem Carton, worin sich Chlorcalcium befindet, gegen Anziehen von Feuchtigkeit geschützt aufzubewahren.

*) Der Ballen wird auf der Platte anfangs in Kreisen, zuletzt in der oben unter (†) besprochenen geradlinigen Strichrichtung hin- und hergeführt. Gelegenheitlich soll hier wieder angeführt werden, daß diese geradlinige Strichrichtung, mit welcher, wie wir uns erinnern, jede der Putzoperationen zu endigen hat, bei allen diesen Operationen eine und dieselbe sein müsse, und es daher nothwendig sei, sich diese Richtung gleich bei der ersten Operation auf der Platte, am entsprechendsten auf ihrer kupfernen Rückseite, etwa durch feine Risse in die über den Putzklotz hervorstehenden Theile, deutlich zu markiren.

) Bezüglich der beiden Putzballen ist noch zu bemerken, daß sie nicht mit einander verwechselt werden dürfen, also einer nicht bald mit, bald ohne Knochenpulver gebraucht werden darf, daher zur leichtern Vermeidung dieses Verwechselns nach der Ordnung, in der sie in Anwendung kommen (mit I und II) nummerirt sein sollen; ferner, daß man sie nie, ohne Handschuhe angezogen zu haben, gebrauche und gleich nach dem Gebrauche wieder in die Schachtel oder das Carton, wovon in der Anmerkung **) Erwähnung geschah, zur Verwahrung bringen soll. Endlich ist noch zu bemerken, daß man immer, bevor in dem beschriebenen Putzverfahren ein neuer Schritt weiter gethan wird, die Platte am Rande ringsherum mit etwas Baumwolle abstreifen müsse, um nicht die daselbst von der einen Operation etwa zurückgebliebenen Unreinigkeiten bei der nächsten Operation wieder auf die Platte zu bringen. Auch hat man stets die Hände rein, und, besonders von der Operation des Glänzens angefangen, alle Feuchtigkeit möglichst fern zu halten.

lange allmälig im Brom einträgt, bis das Ganze eine starre Masse darstellt, und diese dann mit Wasser ziemlich stark verdünnt*). Diese Flüssigkeit befindet sich in einer Porzellanschale, welche eine der Platte angemessene Gestalt und Größe hat und sich durch eine auf ihrem Rande aufgeschliffene matte Glastafel für die Zeit dicht verschließen läßt, wo von dem Inhalte kein Gebrauch gemacht wird. Die Flüssigkeitsoberfläche soll überall gleichweit, etwa 2''', unter dem besagten Rande stehen. Zum Behufe des Jodirens wird nun die Silberseite der Platte über der Flüssigkeitsoberfläche so angebracht, daß sie von dieser überall gleichweit absteht**), die Platte zur Erzielung gleichförmigerer Jodirung an allen Stellen, öfters in ihrer Ebene gedreht, oder, wenn dies nicht angeht, in der Art umgekehrt, daß die Stellen von rechts und links verwechselt werden, und damit so lange fortgefahren, bis ihre Silberfläche, in einem verfinsterten Lokale, in welches etwa durch einen ganz wenig geöffneten Fensterladen nur sehr wenig Tageslicht eindringen kann, von Zeit zu Zeit angesehen, gleichmäßig pfirsichblüthenfarbig erscheint.

Ad 3. Ist dieser Farbenton erreicht, so ist das Jodiren beendet, und es wird nun die Platte in die Camera obscura (man sehe S. 700) mit der jodirten Fläche genau an die Stelle gebracht, wo ein scharfes Bild des zu copirenden Gegenstandes entsteht***). Befindet sich der zu daguerreotypirende

---

*) Diese Flüssigkeit gewährt außerdem, daß mit ihr präparirte Platten einen hohen Grad von Empfindlichkeit für das Licht besitzen, auch den großen Vortheil, daß sie, nach der gegebenen Vorschrift bereitet, immer von ganz gleicher Beschaffenheit ist, man daher rücksichtlich ihrer jedes Mal des guten Erfolges gewiß sein kann. Ausdrücklich mag hier erwähnt werden, daß ein Ueberschuß von Jod in der Masse nicht schadet.

**) Zu diesem Ende befindet sich die Platte schon jetzt in der Cassette, in welcher sie nach erfolgter Jodirung in die Camera obscura gebracht wird, und welche der Wesenheit nach in einem Rahmen besteht, worin die Platte, mit dem Rande der Silberfläche ringsherum auf einem kleinen Falz aufliegend, befestigt und durch einen vorn auf den Rahmen aufgesteckten Deckel oder durch einen vor der Silberfläche der Platte in den Rahmen einschiebbaren Schieber gegen alle Lichteinwirkung von außen her geschützt werden kann. Auf dem Rande der Porzellanschale ruht ein anderer Rahmen, in welchen sich die Cassette, nachdem ihr Deckel abgenommen oder der Schieber herausgezogen worden, so versenken oder einpassen läßt, daß die Dämpfe der Jodirungsflüssigkeit nur auf die mehrerwähnte Silberfläche, nicht aber auf den sie umgebenden Cassette-Rahmen einwirken können, man also nicht zu befürchten hat, daß von diesem Rahmen beim nachherigen Einsetzen der Cassette in die Camera obscura eine Wirkung ausgeht, wodurch die der Silberoberfläche durch das Jodiren ertheilte gehörige Beschaffenheit, beeinträchtigt wird.

***) Es wird nämlich nach Erzielung des besagten Farbentones die Cassette von der Porzellanschale abgehoben (aus dem auf dem Rande der Schale ruhenden Rahmen herausgenommen), mit dem Deckel oder Schieber verschlossen und dann in die Camera obscura nach Herausnahme der mattgeschliffenen Glastafel, worauf durch gehörige Einstellung des Objektivglases vorher ein scharfes Bild des zu copirenden Gegenstandes beobachtet worden ist, so eingesetzt, daß nach Entfernung des Deckels oder Schiebers und bei unverrückt gebliebener Stellung des Objektivglases gegen den zu copirenden Gegenstand die jodirte Platte genau an den Platz der herausgenommenen matten Glastafel zu stehen kommt, und dann das besagte scharfe Bild ebenso auf ihre jodirte Fläche, wie vorher auf die Glastafelfläche fällt. Daß während des Einsetzens der Platte in die Camera erstere gegen jede Lichteinwirkung geschützt werden müsse, und diese Wirkung in der Camera mit einem Male und erst dann zu beginnen habe, wenn die Platte darin den gehörigen Platz eingenommen hat, versteht sich von selbst. Man schiebt deswegen, nachdem das betreffende scharfe Bild auf der matten Glastafel erhalten worden, einen Deckel über das Objektiv der Camera und nimmt diesen erst dann und rasch wieder weg, nachdem die matte Glastafel mit der Platte verwechselt worden. Hat die Cassette einen abzunehmenden Deckel, so muß, da dieses Abnehmen nur im Dunkeln geschehen darf, die Camera zum Behuf des besagten Verwechselns in einen verdunkelten Raum und nachher genau an den vorigen Platz (genau in die vorige Stellung gegen den zu copirenden

Gegenstand (z. B. eine zu porträtirende Person) im Freien und in einem vom gewöhnlichen guten Tageslichte beleuchteten (nicht aber vom Sonnenlichte beschienenen) Raume, so ist eine Licht-Einwirkung auf die Platte in der Camera von (im Mittel) etwa 10 Sekunden zu gehöriger Erzeugung des Daguerreotypbildes die entsprechendste. In einem hellen Zimmer bei Beleuchtung des betreffenden Gegenstandes durch von den Wolken direkt reflektirtes Licht ist die erforderliche Lichteinwirkungsdauer gewöhnlich mindestens eine Minute. So wie eine zu kurze, eben so ist auch eine zu lange Lichteinwirkung nachtheilig. Aus zu langer Einwirkung gehen **negative**, d. i. solche Bilder hervor, in denen die Stellen dunkel erscheinen, welche am Gegenstande hell sind und umgekehrt.

Ad. 4. Zum Behufe des Quecksilberns wird die aus der Camera genommene Platte sammt der Cassette, in der sie nun mittelst des Deckels oder Schiebers gegen das Licht geschützt worden, in einen hözernen Kasten gebracht und darin in geneigter Stellung vom Boden aus aufsteigenden Quecksilberdämpfen so lange ausgesetzt, bis das in der Camera erzeugte, jedoch unsichtbar aus derselben gekommene Bild in allen Details deutlich sichtbar und kräftig hervorgerufen ist*).

Ad 5. Den Beschluß macht endlich das Waschen der Platte. Man gießt von einer Auflösung von 3 Loth unterschwefligsaurem Natron in 1 Pfund Wasser so viel auf die in einer kleinen Tasse liegende Platte, als zum Ueberdecken derselben erforderlich ist, entfernt die Flüssigkeit nach kurzer Zeit wieder von der Platte (und verwendet sie dann nicht mehr weiter), spült nachher die Platte gut mit destillirtem Wasser ab und trocknet sie endlich, indem man sie am Rande mit einem Zängelchen in geneigter Stellung (die Bildseite nach oben) festhält und mit einer darunter gehaltenen kleinen Weingeistlampe so erwärmt, daß man mit der Lampe in dem Maße allmälig von oben nach unten weiter rückt, als die Feuchtigkeit nach Art eines in der besagten Richtung herabgezogenen Schleiers verschwindet.

Theorie der Daguerreotypie. Die hier folgende, von **Choiselat** und **Ratel** herrührende theoretische Ansicht über den Hergang bei Erzeugung, Hervorrufung und Fixirung eines Daguerreotypbildes bezieht sich zwar auf die bloße Anwendung von Jod zum Jodiren, wo dann die fürs Licht empfindliche Schichte auf der Platte nur allein Jodsilber ist, während bei der von uns empfohlenen Anwendung von Jodbromür auch die Wirkung von Brom mit ins Spiel tritt. Da diese jedoch untergeordnet ist, die vom Jod kommende Hauptwirkung bloß beschleunigt und erhöht; so werden durch die besagte theoretische Ansicht **Choiselat's** und **Ratel's** auch die wesentlichen Erscheinungen und Momente bei Anwendung unserer Jodirungsflüssigkeit erklärt. Nach dieser Ansicht nun wird das beim Jodiren gebildete Silberjodid in der Camera an den Stellen, auf welche das Licht einwirkt, so verändert, daß es sich dort, wo das Licht am stärksten ist, unter Ausscheidung

---

Gegenstand) zurückgebracht werden. Für Cassetten mit Schieber ist immer die Einrichtung getroffen, daß letzterer, erst nachdem die Cassette schon in die Camera gehörig eingesetzt ist, herausgezogen und die Platte der Lichteinwirkung preisgegeben werden kann. Nicht unwesentlich für die Art, in welcher das ganze fertige Bild dem Auge sich präsentirt, ist es, der Platte in der Camera eine solche Stellung zu geben, daß die beim Putzprozesse beobachtete, auf der Platte markirte, geradlinige Strichrichtung (†) S. 812 eine horizontale Lage habe (einen rechten Winkel mit der Hauptrichtung des anzufertigenden Daguerreotypbildes mache).

*) Der besagte hölzerne, mit einem Deckel verschließbare Kasten steht auf Füßen und hat in seinem Boden eine Schale aus schwarzem Eisenblech eingesetzt, worin sich Quecksilber befindet, das durch ein untergestelltes Weingeistlämpchen erhitzt wird. Ist die Platte in den Kasten eingesetzt und dessen Deckel geschlossen, so erhitzt man das Quecksilber auf 40—50° R., was aus einem mit der Kugel in die Blechschale tauchenden und mit der Röhre äußerlich am Kasten emporgehenden kleinen Weingeistthermometer erkannt wird, läßt dann auf 20° abkühlen und wiederholt dies nach Bedarf. Eine in der Kastenwand eingekittete kleine Glastafel, vor der sich ein Schieber befindet, gestattet, mit einer brennenden Kerze von außen her die Wirkung der Quecksilberdämpfe auf der Platte zu beobachten.

von Jod, welches von der Platte wieder aufgenommen wird, reichlich in Silbersubjodid umwandelt, während an den Stellen schwächerer Lichteinwirkung diese Umwandlung in weit geringerem Maße vor sich geht, und in den dunkelsten Parthien endlich das Silberjodid nur sehr wenig angegriffen wird. Kommt nun mit der so veränderten Oberfläche der Platte Quecksilber (in Dampfform) in Berührung, so bildet es mit dem Silberjodide Quecksilberjodür; es erzeugt sich demnach an den Schattenstellen (an den Stellen, auf welche das Licht schwach eingewirkt hatte), wo das Silberjodid mehr weniger vollkommen erhalten ist, viel, an den lichteren (den Stellen erfolgter stärkerer Lichteinwirkung) hingegen nur wenig Quecksilberjodür und metallisches Silber. Was die dunkeln Stellen anbelangt, so bleibt an denselben die Wirkung hierbei stehen; nicht so ist es aber an den Lichtstellen, da an diesen das gebildete Quecksilberjodür, mit dem Silbersubjodid in Berührung kommend, eine doppelte Zersetzung veranlassen muß. Das Quecksilberjodür zerfällt nämlich in zwei Theile, so daß ein Theil mit dem Jod des Silbersubjodids und mit dem Jod des anderen Theils in (rothes) Quecksilberjodid übergeht, mithin aus dem Silbersubjodide das Silber und aus dem zweiten Theile des Quecksilberjodürs das Quecksilber ausgeschieden wird, welches sich sogleich mit dem freigewordenen Silber verbindet und auf die Platte absetzt. Durch die lichtesten Stellen also kommt das Bild zuerst zum Vorschein (nach der allgemeinen Annahme werden die lichten Stellen eines Daguerre'schen Bildes durch Quecksilber, welches sich auf die Platte bloß abgelagert oder damit amalgamirt hat, die dunkeln hingegen durch die Politur des Silbers selbst hervorgebracht); sie absorbiren um so mehr Quecksilber, als sie, zu Folge lebhafterer Lichteinwirkung, reicher an Silbersubjodid sind. Bei den intensivsten Schatten hingegen, wo der Einwirkung des Quecksilbers nur Silberjodid dargeboten wird, kann nur ein mehr oder weniger dunkler Flor von grünem Quecksilberjodür vermengt mit metallischem Silber entstehen, welches Metall in seiner äußerst feinen Zertheilung schwarz erscheint. Zwischen diesen beiden Extremen, zwischen den stärksten Schatten und den reinsten weißen Stellen nämlich, müssen sich aber, je nachdem die vorhergegangene Lichteinwirkung mehr oder weniger kräftig war, die verschiedenen Mitteltinten des Gegenstandes finden und zwar die helleren an den Stellen, wo die Schichte von Silbersubjodid zu Folge kräftigerer Lichteinwirkung stärker ist. In der That erscheint auch nach dem Quecksilbern die Platte in den Schattenparthien wegen des Vorhandenseins von viel Quecksilberjodür und metallischem Silber schwarz oder grünlich, an den hellsten Lichtstellen hingegen roth, da diese nur aus in unsichtbaren Tröpfchen vorhandenem und mit einer Schichte Quecksilberjodid bedecktem Silberamalgame bestehen. Beim Waschen der Platte in einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron löst sich das rothe Quecksilberjodid auf, das grüne Quecksilberjodür zerfällt in Quecksilberjodid, welches wie das vorige verschwindet, und in metallisches Quecksilber, das auf der Platte zurückbleibt. Es werden also, kurz gesagt, die weißen Stellen von dem sehr zarten Staube eines auf die Platte sich ablagernden Silberamalgams gebildet und sind desto lebhafter, je reichlicher derselbe niederfällt und je silberhaltiger er ist; die dunkeln Stellen aber sind das Resultat des Absetzens sehr fein zertheilten Silbers, welches mechanisch mit einer sehr kleinen Menge beim Waschen sich erzeugenden Quecksilbers gemengt ist.

Es ist, wie zuerst Becquerel gezeigt hat, möglich, eine für das Licht empfindliche Schichte so zuzubereiten, daß sie sich auch mit der Farbe des darauffallenden Lichtes färbt. Eine solche Schichte von Chlorsilber wird erhalten, wenn man eine polirte Silber- oder eine mit Silber plattirte Kupferplatte unter gewissen Bedingungen von Chlor angegriffen werden läßt. Projecirt man dann auf die so präparirte Platte ein durch eine Linse stark conzentrirtes Spektrum, so ertheilt es derselben Farben, die den seinigen ganz analog, nur matter sind. Eben so lassen sich auf die besagte empfindliche Schichte auch farbige Kupferstiche und andere farbige Gegenstände in ihren Farben übertragen. Die besagte Präparirung der Platte geschieht nach Becquerel folgender Maßen: Man hängt die Metallplatte an Drähten in mit Salzsäure angesäuertes Wasser, macht sie darin zur + Elektrode einer Volta'schen (etwa aus 2 Bunsen'schen Bechern bestehenden) Kette, läßt sie beiläufig 1 Minute lang darin, bis sie nach Durchlaufung mehrerer Farbentöne ein zweites Mal eine violete Farbe angenommen hat, worauf man die Operation abbricht, die Platte aus dem Bade nimmt, mit destillirtem Wasser abwäscht und in geneigter Stellung über einer Weingeistlampe trocknet. Hierauf erhitzt man die Platte über einem Dreifuß mit untergestellter Weingeistlampe noch so weit, bis die violete Farbe in Roth sich zu verwandeln anfängt, die Farbe also röthlich-violet oder Holzfarbe wird. Vor dieser Erhitzung und nachher muß man die mit Chlorsilber überzogene Platte mit etwas Baumwolle überfahren, um die empfindliche Schichte glänzend zu machen.

Campbell beobachtet in der Heliochromie, (so heißt die oben in Rede stehende Kunst, Lichtbilder von Gegenständen mit den diesen letzteren eigenthümlichen Farben zu er-

zeugen), folgendes Verfahren: Man bereitet eine Auflösung von Kupferchlorid und Eisenchlorid, in dem man 1 Theil von jedem dieser Salze in 3—4 Theilen Wasser zergehen läßt. Die empfindlich zu machende Silberplatte wird mit dem + Pol einer Volta'schen Batterie und mit den — Pol wird ein Platinblech vereinigt und beide Platten werden in die besagte Auflösung eine von der Stärke der Batterie abhängige Zeit hindurch eingetaucht. Man nimmt die Platte heraus, wenn ihre Farbe, die zuerst grün, dann roth, lilas, braun und endlich schwarz wird, in der ganzen Ausdehnung lilas oder röthlich braun geworden ist. Mit einer Batterie von 2 Grove'schen Elementen, welche durch Beseitigung der Diaphragmen und der Salpetersäure in eine Smee'sche Batterie umgewandelt und mit sehr schwacher Schwefelsäure geladen worden, ist die Operation in 2 Minuten beendigt. Die herausgenommene Platte wird dann sorgfältig mit destillirtem Wasser gewaschen und sehr gut über einer Weingeistlampe getrocknet. Mit steigender Erhitzung nachher geht die Farbe nach und nach durch alle Nüancen zwischen Braun und Roth; der höchsten Empfindlichkeit der Platte entspricht die kirschrothe Nüance. Nie darf jedoch die Temperatur über 100 C. steigen, weil sich sonst die empfindliche Schichte ablösen würde. Alle Operationen können am zerstreuten Tageslicht vorgenommen werden; es ist sogar eine gewisse Menge Licht zur guten Präparirung der Platte nöthig. Ist diese Präparirung eine vollkommene, so zeigt die Platte eine schön roth gefärbte Oberfläche und diese ist zum Theil durchscheinend, ohne jedoch die Silberfläche unter ihr sehen zu lassen. Die Platte kommt nun in die Camera obscura. Der abzubildende Gegenstand, z. B. eine gemalte Lithographie, muß von hellem Sonnenlichte beleuchtet sein. Im Allgemeinen sind 2—3 Stunden Expositionszeit erforderlich, bis die Farben auf der Platte bemerklich werden, und 5—6 Stunden, um eine gute Copie zu erhalten, die dann rücksichtlich der Form und Farben nichts zu wünschen übrig läßt. Eintauchen der Platte in eine schwache Lösung von Fluornatrium vor Einsetzung in die Camera beschleunigt die Einwirkung des Lichtes und die Farben werden fixirt. Die Expositionszeit ist dann 3—4, ja selbst nur 1 Stunde. Gut ist es, wenn die Camera mit einem Fenster versehen ist, durch das man die Entwicklung des Bildes verfolgen kann. Die so erhaltenen Bilder widerstehen den gewöhnlichen chemischen Agentien und der Wärme sehr gut; unterschwefligsaures Natron löst sie aber schnell auf. Eine dünne Schicht farblosen Firnisses erhöht den Effekt der Farben sehr. Niepce hat durch sein (bisher jedoch noch nicht bekannt gegebenes) Verfahren ebenfalls gute Copien gemalter Kupferstiche, künstlicher und natürlicher Blumen und farbiger Gegenstände der todten Natur erhalten. Nach seiner Erfahrung bilden sich alle hellen Farben viel schneller und besser ab, als die dunkeln, und am schwersten ist das Dunkelgrün des Laubwerkes zu erhalten. (Dingler's Journ. Jänner 1853, S. 143 und Compt. rend. 1852. Nr. 19.)

2. Photographie. Wir wollen auch hier (bei der Kunst nämlich Lichtbilder auf Papier zu erzeugen) wieder von den verschiedenen bekannt gewordenen Verfahrungsweisen eine herausheben, welche sowohl von Seite der durch sie erzielbaren Resultate, als bezüglich der Einfachheit und Leichtigkeit der Ausführung vorzüglich empfohlen zu werden verdient. Nach derselben werden die Hauptoperationen jedes (anerkannt praktischen) photographischen Verfahrens d. i. a. die chemische Präparirung des Papiers, b. die Exposition in der Camera, c. das Hervorrufen des negativen Bildes, d. das Fixiren des Bildes, e. die Erzeugung des positiven Bildes (welche wieder in die Präparirung des Papiers, und die Exposition desselben im Lichte zerfällt) und f. die Fixirung des positiven Bildes in nachstehend beschriebener Art vorgenommen.

a. Chemische Präparirung des Papiers. Man wählt ein festes, gut geleimtes, in der Textur gleichförmiges feines Schreibpapier, (es bildet ein solches, bloß zu photographischem Gebrauche bestimmtes Papier einen eigenen Handelsartikel), legt es, nachdem man ihm die der Camera obscura entsprechende Größe und Form (gewöhnlich eines etwas längeren als breiten Rechteckes) gegeben hat, mit der glatten Seite auf die Oberfläche einer Flüssigkeit, welche wir Jodkaliumlösung nennen wollen, und deren Zusammensetzung unten in der Anmerkung *) angegeben ist, und läßt es darauf 1—1½ Minuten lang schwimmen. Hierauf nimmt man es von der Flüssigkeit weg *), trocknet es mit

*) Läßt sich am trockenen Papier die glatte Seite (die Filzseite) von der rauhen (der Siebseite) nicht gut unterscheiden, so gelingt dies leicht, nachdem ein Stückchen des

feinem Löschpapier (ungeleimtem Maschinenpapier), das auf die nasse Seite gelegt und etwa mit einem zusammengeballten Tuche oder mit der flachen Hand gut überfahren wird, bringt es dann mit der immer noch feuchten Seite auf die Oberfläche einer mit Essigsäure versetzten Lösung von salpetersaurem Silberoxyd und läßt es darauf wieder 1—1½ Minuten lang schwimmen *).

b. **Exposition in der Camera.** Das von der Silbersalzlösung abgehobene Papierblatt wird in dem nassen Zustande, in welchem es sich nun befindet, und mit der nassen Seite auf eine mit destillirtem Wasser gut abgewaschene und nachher abgetrocknete Tafel aus reinem Spiegelglas gelegt (dabei genau so verfahren, und aus demselben Grunde, als wollte man es auf eine der bereits besprochenen Flüssigkeiten legen) und dieses mit dem adhärirenden Papierblatte in die Cassette (S. 814) so eingesetzt, daß die freie Glasfläche dem Deckel oder Schieber zugekehrt ist **). Das nun folgende Einsetzen der Cassette in die Camera geschieht ganz in der Weise und unter den nämlichen Vorsichten, wie bei der Daguerreotypie, und die gehörige Expositionsdauer ist je nach der Stärke des zerstreuten Tageslichtes und jenachdem im Freien oder im Zimmer gearbeitet wird, 10 Sekunden bis 1 Minute.

Papiers einige Minuten lang in Wasser gelegt, nachher herausgenommen und abgetrocknet worden. Man kann hiernach gleich an dem ganzen Papiervorrathe die glatte Seite markiren. Die sogenannte Jodkaliumlösung wird durch Auflösen von 1 Loth Jodkalium in 10 Loth destillirten Wassers und nachherigen Zusatz von 5 Gran Fluorkalium, 5 Gran Bromkalium, 5 Gran Cyankalium, 5 Gran Chlorammonium, und 5 Gran Blutlaugensalz bereitet. Man gieße die so erhaltene Flüssigkeit ¼—½ Zoll hoch in eine Porzellantasse, die nur wenig (rings herum etwa 2—3''') größer zu sein braucht als das Papierblatt, faßt dieses dann an zwei einander diagonal gegenüberliegenden Ecken, läßt dasselbe sich durch seine eigene Schwere nach abwärts krümmen, bringt es dann zuerst an der den untersten Platz einnehmenden zweiten Diagonale des Vierecks mit der Flüssigkeitsoberfläche in Berührung, entfernt sofort unter immerwährendem sanftem Drucke nach abwärts die beiden in den Händen gehaltenen Ecken immer weiter von einander und läßt sie endlich völlig aus, wo dann das ganze Papierblatt vollkommen eben auf der Flüssigkeit und ohne daß zwischen ihm und dieser Luftblasen enthalten sind, schwimmt. Das Wegnehmen des Papierblattes von der Flüssigkeit geschieht, indem man eines seiner Ecken mittelst eines Bein- oder Holzstiftes lüftet, dasselbe nachher mit den Fingern faßt, daran das ganze Blatt vertikal in die Höhe hebt und es endlich über der Flüssigkeit abtropfen läßt. Ganz in gleicher Art wird auch bei allen jenen nachfolgenden Operationen verfahren, wo ebenfalls das Papier auf einer Flüssigkeit schwimmen gemacht werden muß.

*) Zur Erzeugung dieser Silbersalzlösung wird 1 Loth grauen Höllensteins (geschmolzenen salpetersauren Silberoxyds) in 10 Loth destillirten Wassers aufgelöst, und der filtrirten Auflösung 180 Gran sehr starker Essigsäure (Radicalessig) zugesetzt. Die so erhaltene Flüssigkeit muß immer im Dunkeln (etwa in einer mit schwarzem Papiere umhüllten Flasche) aufbewahrt werden. Bei der Anwendung wird sie in derselben Art wie das Jodkalium in eine engere, immer bloß für sie bestimmt bleibende Porzellantasse gegossen, und es darf die Anwendung nicht bei Tages-, sondern nur bei Kerzen- oder Lampenlicht geschehen.

**) Die eben erwähnte Cassette unterscheidet sich von jener, die bei der Daguerreotypie beschrieben wurde, hauptsächlich nur dadurch, daß der im Rahmen hinter dem Schieber rings herum gehende Falz tiefer ist, weil sich in denselben nicht nur die besagte Spiegelglasplatte mit dem Papiere, sondern auch noch eine zweite solche Glasplatte, die auf die Rückseite des Papieres zu liegen kommt, und ein auf die zweite Glasplatte folgendes Brettchen, womit das Ganze in der Cassette von rückwärts her eingeschlossen wird, muß einsetzen lassen. Die zweite Spiegelglasplatte hat an jedem ihrer Ecken ein flaches Siegellackknöpfchen angeschmolzen und diese 4 Knöpfchen haben die Bestimmung, die Ecken des photographischen Papiers an die erste Glasplatte anzudrücken, ohne daß dieses sonst an einer Stelle von der zweiten Glasplatte berührt wird. Die Befestigung des Brettchens geschieht mittelst an der Rückseite des Cassetterahmens angebrachter Vorreiber.

c. Hervorrufen des negativen Bildes. Zu diesem Ende legt man das in einem dunkeln Lokale aus der Cassette herausgenommene Papier mit der chemisch präparirten Seite, worauf sich, jedoch noch gänzlich unsichtbar, bereits das negative Bild befindet, auf eine horizontale Glastafel, über welcher vorher in einer der Größe des Papiers angemessenen Ausdehnung eine Schichte concentrirter Gallussäurelösung ausgebreitet worden, und läßt es etwa 25 Minuten, überhaupt so lange liegen, bis sich beim Aufheben und Ansehen desselben im Kerzenlichte (was öfters zu wiederholen ist) das Bild in allen seinen Theilen vollkommen kräftig hervorgetreten zeigt *), so daß in demselben die Lichtpartien des betreffenden Gegenstandes sehr schwarz und die Schattenpartien sehr hell erscheinen und die Zwischentinten nicht fehlen.

d. Fixiren des negativen Bildes. Man legt das von der Gallussäure abgehobene Papier in eine andere Tasse, die bildtragende Seite nach aufwärts gekehrt, und wäscht es gut ein- bis zweimal immer mit frischem destillirten Wasser, welches dann abgegossen wird; nun übergießt man es mit einer Auflösung von 1 Loth unterschwefligsaurem Natron auf 10 Loth destillirten Wassers und läßt es in diesem Bade so lange liegen, bis das Bild (zu Folge Entfernung alles Jodsilbers) in seinen ungeschwärzten Partien nicht mehr gelb, sondern weiß erscheint, was, wenn die besagte Auflösung kalt angewendet wird, oft erst nach 1—2 Stunden eintritt, bei Anwendung desselben im fast siedend heißem Zustande jedoch schon nach 5—15 Minuten der Fall ist. Hierauf nimmt man das Papier aus der Natronlösung heraus, trocknet es allenfalls leicht zwischen zwei Blättern feinen Fließpapieres, wäscht es dann Behufs der Entfernung alles unterschwefligsauren Natrons mit öfter gewechseltem destillirten (oder auch anderem reinen) Wasser und trocknet es endlich erst oberflächlich zwischen Fließpapier und nachher vollständig, indem man es auf einem Blatte Fließpapier frei liegen läßt. Das Fixiren muß bei Kerzen- oder sehr gedämpftem Tageslichte vorgenommen werden.

e. Erzeugung des positiven Bildes. Um nun mittels des in beschriebener Weise dargestellten negativen Bildes ein positives, d. i. ein solches zu erhalten, welches die Lichter und Schatten an den nämlichen Stellen hat, wie der abgebildete Gegenstand, muß vor Allem das negative Bild durch Einlassen (Tränken) mit einem Gemische aus Wachs und Fett durchsichtig gemacht werden **). Das so durchsichtig gemachte negative Bild wird nun über ein anderes

---

*) Das Herausnehmen des Papiers geschieht in der Art, daß man nach zur Seitedrehung der Vorreiber das Brettchen und die zunächst unter diesem befindliche Glasplatte aus der Cassette entfernt, hierauf ein Eck des der zweiten Glasplatte immer noch adhärirenden Papiers (etwa mittelst des Fingernagels) lüftet, dieses dann emporstehende Eck mit den Fingern ergreift und daran das Papier von der letztbesagten Glasplatte allmälig abhebt. Man ergreift nachher mit der andern Hand das Papier an dem diagonal dem vorigen gegenüberliegenden Eck, läßt das Papierblatt sich nun zwischen den erwähnten zwei Ecken wieder abwärts krümmen und verfährt beim Auflegen auf die Gallussäureschichte weiter wie aus der Anmerkung *) auf S. 817 her bekannt ist. Das Ausbreiten der Gallussäurelösung auf der Glastafel geschieht mittelst eines hölzernen Spatels. Besser noch ist es, sich anstatt der Glastafel einer dritten reinen Porzellantasse zu bedienen, in welche dann etwa ein starker Eßlöffel voll Gallussäurelösung gegossen und diese Flüssigkeit durch entsprechendes Hin- und Herneigen der Tasse über deren Boden sich ausbreiten gemacht wird. Gut ist es, das Papier gleich nach dem Auflegen auf die Gallussäureschichte wieder zu lüften, damit diese Säure sich schnell über die ganze, das Bild enthaltende Papierseite (die andere soll von Gallussäure möglichst frei bleiben) verbreite.

**) Dieses Einlassen geschieht folgender Maßen. Man erhitzt über einer Weingeistlampe eine Kupferplatte, bis sie, mit nassem Finger berührt, heftig zischt, nimmt sie dann von der Lampe weg, legt sie auf einen Tisch, auf sie ein dünnes und reines Blatt

chemisch präparirtes Papierblatt gelegt, (was in einem eigenen, unten in der Anmerkung beschriebenen Rahmen, dem sogenannten Copirrahmen geschieht) und auf ersteres eine gehörige Zeit lang das Tageslicht (½—1 Stunde lang), oder direktes Sonnenlicht (5—15 Minuten lang) einfallen gelassen. Die chemische Präparirung wird dadurch bewerkstelligt, daß man das Papierblatt zuerst ungefähr 1½ Minuten lang auf einer Auflösung von 60 Gran Kochsalz in 10 Loth destillirten Wassers schwimmen läßt, dasselbe hierauf zwischen Fließpapier oberflächlich abtrocknet, es dann etwa 2 Minuten lang auf einer Lösung von 1 Loth krystallisirten salpetersauren Silberoxydes in 10 Loth destillirten Wassers schwimmen läßt, nachher in gleicher Weise wie vorher mit Fließpapier trocknet, ferner beide Operationen (das Schwimmenlassen auf beiden Flüssigkeiten sammt dem jedesmal folgenden Abtrocknen) in der nämlichen Ordnung wiederholt, und endlich mit sorgfältiger Trocknung durch häufiges Ueberstreichen und Andrücken aufgelegten frischen Fließpapiers schließt*).

f. Fixirung des positiven Bildes. Hat die vorbesagte Einwirkung des Lichtes lange genug gedauert, so nimmt man das hierdurch erzeugte positive Bild aus dem Copirrahmen und legt es in eine Auflösung von 2 Loth unterschwefligsauren Natron und ½ Loth Kochsalz in 20 Loth destillirten Wassers, beläßt es darin ½—1 Stunde, wohl auch länger, bis es nämlich an Kraft nicht mehr zunimmt, worauf es herausgenommen, zwischen Fließpapier abgetrocknet, im Verlaufe einiger Stunden in 2—3 Mal gewechseltem destillirtem Wasser sehr sorgfältig ausgewaschen und endlich vollkommen getrocknet wird. Dieses fleißige Waschen ist nothwendig, weil das Bild sonst nachbleicht und mit der Zeit seine ganze Kraft verliert.

3. Niepçotypie. Bei dieser erst seit Kurzem in Ausübung begriffenen, aber schon jetzt ausgezeichnete photographische Resultate liefernde Kunst wird das Lichtbild auf einer festen durchsichtigen, möglichst gleichförmigen und gleichmäßig

---

Papier, auf dieses das Bild, und überfährt dann die ganze Fläche des letzteren mit einem durch Zusammenschmelzen von 3 Gewichtstheilen weißen Wachses mit 2 Theilen Hirschunschlitt bereiteten Gemische, dem man durch Eingießen in einen hohlen Papiercylinder die Form einer kurzen dicken Kerze gegeben hat. Das Bild erscheint dann reichlich mit dieser Masse durchzogen, das Ueberflüssige derselben wird, noch während das Bild auf der Kupferplatte liegt, mittelst eines Leinwandlappens weggewischt, und sollte der so erzielte Durchsichtigkeitsgrad noch nicht genügend erscheinen, wird die Operation auf der zweiten Seite des Bildes wiederholt.

*) Für positive Bilder ist jedes weiße glatte Schreibpapier geeignet, obgleich die Beschaffenheit des Papiers auf den Ton des Bildes auch Einfluß hat. Der oben erwähnte Copirrahmen ist ein Rahmen, in welchem zwei übereinander eingelegte starke Spiegelglastafeln in entsprechender Weise, die aus dem Nachstehenden klar werden dürfte, an einander gepreßt werden können. Zum Behuf dieses Einpressens legt man auf ein im Rahmen auf einem Falz aufliegendes Brettchen die eine Glasplatte, auf diese einen mit ihr gleich großen Fleck von schwarzem Manchester (die Wollseite aufwärts gekehrt), darauf das Copirpapier, mit der präparirten Seite nach oben, auf dieses das negative Bild, die Bildseite nach unten gekehrt, und darauf endlich die zweite Spiegelglasplatte. Nun preßt man alle diese Theile mittelst an dem Rahmen ringsherum angebrachter Schrauben, Keile, oder einer andern passenden Vorrichtung zusammen (diese Vorrichtung muß nämlich immer so beschaffen sein, daß nach dem Einpressen die obere Glasplatte bis auf den äußersten Rand an allen Stellen ganz frei dem Lichte zugänglich bleibt) und setzt das Ganze (natürlich die freie Glasplatte nach oben gekehrt) entweder den direkten Sonnenstrahlen oder dem zerstreuten Tageslichte so lange aus, bis der über das negative Bild ringsherum vorstehende Rand des zu diesem Ende absichtlich etwas größer genommenen Copirpapiers fast schwarz geworden ist Im zerstreuten Tageslichte bedarf es oft weit länger, als die oben angegebene Zeit von ½—1 Stunde.

dicken Schichte vorzüglich von Eiweiß, Kleister oder thierischem Leim, oder vorzüglich von Collodium (S. 419) erzeugt, womit eine reine Glastafel (Solintafel) überzogen ist, und welche dann der Hauptsache nach mit den nämlichen Substanzen, wie in der Talbotypie das Papier, präparirt (fürs Licht empfindlich gemacht) und auch weiter in fast gleicher Weise behandelt wird. Was für einen der genannten Stoffe man anwendet, immer muß ihm eine solche Consistenz gegeben werden, daß er auf eine Platte gegossen, wie Syrup auseinander fließt. Kleister muß gut verkocht, Leim vollkommen gelöst und Eiweiß durch Schlagen zu Schnee oder Filtriren durch Seidenpapier von seiner zellenartigen Substanz befreit und das Collodium ganz rein und klar sein. Man pflegt den besagten Flüssigkeiten gleich das Jodkalium zuzusetzen. Das Auftragen derselben auf die Glastafel kann wie immer geschehen, nur muß dafür gesorgt werden, daß die aufgetragene Schichte keine Luftbläschen enthält. Am einfachsten und besten scheint es zu sein, eine entsprechende Menge der früher möglichst blasenfrei gemachten Masse auf die Mitte der horizontal liegenden (und vorher sehr sorgfältig gereinigten) Tafel auszugießen und durch nachheriges Neigen der Tafel nach allen Seiten hin auf derselben sich gleichmäßig ausbreiten zu machen. Ist dieß geschehen und hat man den so erhaltenen gleichförmigen Ueberzug entsprechend trocken werden gelassen, so folgt die Behandlung mit der Silbersalzlösung. Dabei ist wesentlich, daß die überzogene Glasfläche auf Einmal mit dieser Lösung in Berührung komme, was am einfachsten durch vertikales Eintauchen oder durch schnelles horizontales Einlegen in die Lösung erreicht wird. Die aus der Silberlösung genommene, an der Rückseite und an den Rändern abgewischte Tafel kommt nun in die Camera obscura, hierauf folgt das Hervorrufen des Bildes mittelst Gallussäure, das Fixiren mit unterschwefligsaurem Natron und endlich das Waschen mit destillirtem Wasser gerade wie bei der Papierbildererzeugung. — Auch das Umkehren des so erhaltenen negativen Bildes (die Erzeugung eines positiven Bildes) geschieht wie dort, nur findet kein Einpressen in einen Copirrahmen statt. Die einfachsten und gewöhnlichsten Methoden, Photographien auf Glas zu erzeugen, sind die mit Anwendung von Stärke und von Collodium; deswegen soll auch hier nur das Wesen dieser beiden Methoden (und zwar nach A. Martin's Handbuch der gesammten Photographie, Wien bei Gerold, welches auch bei dem über Lichtbilder auf Metall und Papier Vorgetragenen benützt wurde) im Detail beschrieben werden.

1. Stärkebilder. Die Kleistermasse wird bereitet, indem man ½ Loth Stärke mit 2 Loth destillirten Wassers, in welchem 8 Gran Jodkalium aufgelöst wurden, in einer Reibschale abrührt, dann 4—6 Tropfen einer concentrirten Cyankaliumlösung und ¼ Loth Essigsäure zusetzt. Diese Mischung (welche nicht bröcklich oder sandig sein darf, weswegen das Stärkmehl früher geschlemmt oder trocken durch schüttere Leinwand gebeutelt werden muß) gießt man dann in einem dünnen Strome unter Umrühren in 8—10 Loth destillirten Wassers, welches bis zum heftigsten Wallen über einer Lampe erhitzt worden. Dieses Kochen unterhält man unter stetem Umrühren noch einige Augenblicke, worauf die Masse von der Flamme abgehoben und erkalten gelassen, hernach durch einen feinen Zeug durchgepreßt und etwa in einem Fläschchen zu weiterem Gebrauch aufbewahrt wird. Diese Ueberzugsflüssigkeit muß milchig, jedoch durchscheinend aussehen, frei von Blasen und dickflüssig, ungefähr wie Syrup, sein; ist sie aber zu dickflüssig ausgefallen, so kann man sie mit siedendem destillirten Wasser zu gehörigem Grad verdünnen. Die erkaltete Masse gießt man nun in die Mitte der horizontal gehaltenen, mit kaustischem Kali, mit Spiritus und Trippel oder auf sonst eine Art wohl gereinigten Glastafel und läßt sie durch entsprechendes Neigen dieser letzteren nach allen Richtungen auseinanderfließen. Ist die ganze

Fläche überzogen, so läßt man das Ueberflüssige ablaufen, wischt die Kanten und die Rückseite der Platte ab und bringt die Glastafel zum Trocknen an einen staubfreien Ort, indem man sie horizontal legt oder geneigt an eine Wand stellt, jenachdem die Masse dünn= oder dickflüssig ist. Die vollkommen trockene Platte hält man einige Augenblicke über Wasserdämpfe, die von heißem, in eine Tasse gegossenem Wasser aufsteigen; dadurch wird die Oberfläche gleichmäßig empfänglich die Silbersalzlösung anzunehmen, womit man sie nachher auf einmal in Berührung zu bringen hat. Zu diesem Ende gießt man die Silbersalzlösung in eine Porzellantasse der Art, wie sie auch in der Photographie auf Papier zur Präparirung dieses letzteren angewendet wird (Anmerkung auf S. 817) und legt die Platte schnell in die Lösung oder hält die Platte an der obern und untern Kante mit beiden Zeigefingern der rechten und linken Hand horizontal, mit der präparirten Seite nach abwärts, nahe über die Oberfläche der Flüssigkeit, senkt hierauf die links gehaltene Kante etwas, bis sie die Oberfläche der Flüssigkeit berührt und senkt dann auch die rechtsgehaltene Kante, wodurch die Flüssigkeit längst der präparirten Oberfläche der Platte hingleiten gemacht wird und diese, wenn gleich mit den Fingern gehalten, doch gewisser Maßen auf der Flüssigkeit schwimmt. Nachdem man die Platte von der Silberlösung weggenommen, und ihre Ränder und Rückseite mit einem Lappen abgewischt hat, legt man sie im dunklen Zimmer einige Augenblicke horizontal auf den Tisch, damit das Silber mit dem Jodkalium gehörig die Verbindung eingeht, legt endlich die Platte in die Cassette (S. 814) und exponirt sie in der Camera obscura dem Lichte. Nach der Exposition, deren erforderliche Dauer durch Erfahrung ermittelt werden muß, legt man die Glastafel, mit der Bildseite nach oben, horizontal entweder in eine leere Tasse, oder auf einen Rost und übergießt sie mit Gallussäure, die man auf irgend eine Weise z. B. durch entsprechendes Neigen der Tafel gleichmäßig auszubreiten sucht. Ist das so hervorgerufene (negative) Bild kräftig genug geworden, wozu eine etwas längere Zeit erforderlich ist, als bei Papierbildern und was man bei einer auf den Rost gelegten Platte durch mäßiges Erwärmen beschleunigen kann; so wäscht man die Platte in Wasser ab und fixirt auf gewöhnliche Weise mit einer Lösung von unterschwefligsauren Natron oder von Bromkalium durch längeres Eintauchen bis das gelbe Jodsilber aufgelöst ist, worauf man das Bild neuerdings abwäscht und nachher, während die Tafel schief angelehnt ist, trocknen läßt. Um von dem so fixirten negativen Bilde ein positives zu erhalten, wird ganz wie bei den Papierbildern verfahren (S. 819), nur unterbleibt wegen der Gebrechlichkeit der Glastafel natürlich das Einpressen in den Copirrahmen.

2. Collodiumbilder. Zur Bereitung des zum Ueberzuge der Glastafel dienlichen Collodiums gibt man zu 2 Loth Schwefeläther 1 Loth Alkohol (stärksten Weingeist), welchen man vorher in erwärmtem Zustande mit 3 — 6 Gran Jodkalium versetzt (etwa in einer Reibschale zusammengerieben) hat. In dieser Mischung löst man nun Collodiumwolle auf, läßt die etwaigen Unreinigkeiten des so erhaltenen Collodiums zu Boden setzen und gießt beim Gebrauch vorsichtig die klare Flüssigkeit ab. Die besagte Collodiumwolle wird schnell und in vorzüglicher Beschaffenheit, nach Gaudin's und Mann's Angabe, folgender Maßen erhalten: Man pulverisirt raffinirten Kalisalpeter, wie er im Handel vorkommt, welcher jedoch nicht feucht sein darf, versetzt ihn in einem Glas= oder Porzellangefäße mit concentrirter (englischer) Schwefelsäure (von 1·83 — 1·835 spez. Gew.) und rührt die Mischung mit einem Glas= oder Holzstabe um, so daß ein dünner Brei entsteht. Nach einigen Minuten, wenn die Mischung wieder dicker geworden ist, setzt man neue Schwefelsäure zu, bis Alles nach gutem Vermischen die Consistenz eines Syrups hat. Man braucht etwa 20 Gew. Theile Kalisalpeter, 35 Theile Schwefelsäure und 1 Theil Baumwolle). Nun bringt man in die

auf 50° C. erwärmte Mischung reine Baumwolle und arbeitet sie darin gut durch, es erstarrt dann fast augenblicklich Alles zu einer Masse, und nach Verlauf von einer Viertelstunde stellt man das Gefäß unter Wasser, um das der Baumwolle anhängende Salz aufzulösen; endlich wäscht man die Baumwolle mit vielem Wasser ab, so daß sie nicht mehr sauer reagirt, und behandelt sie dann zur Entfernung alles schwefelsauren Kalis mit kochendem Wasser, trocknet sie endlich vorsichtig und sie ist fertig. Von dem Collodium wird auf die vorher mit Weingeist und Trippel, dann mit Weingeist und Aether mittelst in Aether gereinigten Leders wohlgeputzte Glastafel in der Mitte etwas aufgegossen und durch sanftes Neigen nach allen Seiten dasselbe überall gleichmäßig ausgebreitet; das Ueberschüssige läßt man über ein Eck in ein anderes Gefäß ablaufen, um nicht den Vorrath von Collodium damit zu verunreinigen. Wenn die Collodiumschichte auf der horizontal hingelegten Tafel so weit trocken ist, daß sie beim Betupfen mit dem Finger noch leicht klebrig erscheint, so taucht man die Tafel mit einer passenden Handhabe schnell in einen hohen schmalen Trog, worin die Silberlösung sich befindet und bewegt sie sachte einige Male auf und ab bis sich die gelblich durchsichtige, opalisirende Jodsilberschichte gebildet hat, worauf man die Platte noch naß in die Cassette legt und alsbald zur Exposition schreitet. Die Expositionszeit muß genau studirt werden, denn je trockener die Collodiumschichte wird, desto unempfindlicher ist sie. Die Silbersalzlösung wird bereitet aus 1 Loth Silbersalz und 16 Loth Wasser. Nach der Exposition schreitet man zum Hervorrufen, wozu man eine Lösung von 12 Gran Pyrogallussäure in 16 Loth Wasser verwendet, die vorher mit 2 Loth gewöhnlicher Essigsäure oder 1 Loth Eisessig versetzt wurde. Fixirt wird das erhaltene negative Bild ganz so, wie es beim Stärkebild beschrieben wurde, und ebenso geschieht auch, wie dort, die Erzeugung eines positiven Bildes.

Man kann unmittelbar positive Collodiumbilder erhalten. Martin in Paris gibt hierzu nachstehende Vorschrift. Das fertige Collodium soll 1 Gramm Baumwolle, 120 Gramm Aether und 60 Gramm Alkohol enthalten; man setzt dann beiläufig 1 Gramm salpetersaures Silber zu, welches vorher in Jodsilber umgewandelt und dann in 20 Gramm Alkohol mittelst Jodammonium aufgelöst worden. Die Glasplatte wird in gewöhnlicher Weise mit einer dünnen Schichte dieser Auflösung überzogen und bevor sie trocken ist, in ein Bad aus 1 Theil destillirten Wassers, $^1/_{20}$ salpetersauren Silbers und $^1/_{20}$ Salpetersäure einige Sekunden lang gelegt. Nachher taucht man die Platte in ein Bad von Eisenvitriol und wäscht sie nachher sorgfältig. Bis zu diesem Zeitpunkt ist das Bild ein negatives geblieben, wenn man es aber in eine Lösung von Cyansilber in Cyankalium (1 Litre Wasser, 25 Gramm Cyankalium und 4 Gramm salpetersaures Silber) legt, so wird es vollständig ein positives, das man dann nur zu waschen, mit Dextrin zu überziehen, zu trocknen und über einen Grund von schwarzem Sammt einzurahmen braucht.

Um positive Collodiumbilder auf zum Stich dienenden Metallplatten zu erhalten, wird (ebenfalls nach Martin's Vorschrift) die Metallplatte wie gewöhnlich, aber auf beiden Seiten mit Aetzgrund überzogen, dann mit dem eben vorher beschriebenen jodhaltigen Collodium überzogen und auch weiter wie dort behandelt. Nachdem man dem Bilde im Cyankaliumsilber-Bade sein durch das Licht modifizirtes Jodsilber entzogen hat, wäscht man es mit vielem Wasser, taucht es in eine Auflösung von Dextrin und trocknet es nachher. Der Kupferstecher kann das Bild nun benützen wie ein durch Durchzeichnen auf dem Aetzgrunde in gewöhnlicher Weise aufgetragenes. (Compt. rend., April 1853, Nr. 16.)

Wir nehmen endlich hier noch Veranlassung von Bildern besonderer Art zu reden, welche, wie Moser entdeckte, entstehen, wenn ein Körper unter günstigen Umständen längere Zeit einem andern sehr genähert oder mit demselben in Berührung gestanden war, beide hierauf von einander getrennt worden. Moser schrieb diese Bilder der Wirkung eines als existirend vorausgesetzten dunkeln (unsichtbaren) Lichtes zu, so daß sie gleichsam Daguerre'sche Bilder, aber durch dieses dunkle Licht erzeugt, sind. Hunt und Knorre suchen ihre Ursache in einer durch gegenseitigen Austausch der Wärme beider Körper bewirkten Veränderung der Molekularanordnung der Oberfläche desjenigen Körpers, worauf das Bild entsteht, und nennen diese Bilder deswegen Thermographien. Die natürlichste und wahrscheinlichste Erklärung ist aber jene von Waibele, welcher sich denkt, durch Annäherung oder Berührung eines Körpers mit einem andern werde an den Berührungsstellen die Menge der da-

selbst von verschiedenen Körpern in verschiedenem Grade absorbirten Gase im Vergleiche mit den übrigen Stellen vermehrt oder vermindert, je nachdem der Körper mehr oder weniger gierig die Gase absorbirt; es bekommen daher so wie durch die oben vorausgesetzte Aenderung der Molekularanordnung die besagten Berührungsstellen die Eigenschaft, Dunst in einem andern Maße zu condensiren, als die übrigen Stellen und daher kommt das Bild an den ersteren. Dieser Ansicht ganz analog ist die von Fizeau, welcher annimmt, die meisten Körper, mit denen wir operiren, seien auf ihrer Oberfläche mit einer Schichte organischer, von Wasserdampf fortnehmbarer Substanz bedeckt, diese Substanz werde an der mit dem abzubildenden Körper in Berührung oder Annäherung tretenden Stelle verdichtet und daher der Wasserdampf daselbst in anderer Weise condensirt, als an den übrigen Stellen.

Demnach wären (und dies ist in der That sehr wahrscheinlich) die Moser'schen Bilder und die Knorre'schen Thermographien auf dem nämlichen Grunde beruhend wie Karsten's elektrische und Rieß's Hauchbilder, die auf S. 406 besprochen wurden. Das Nähere über die Moser'schen Bilder findet man in Poggend. Ann. B. 56, 57, 58. Mit ihnen in dieselbe Klasse gehörig sind auch die Bilder, die man nicht selten auf vor Kupferstichen befindlich gewesenen Gläsern, auf den inneren Kapseln von Taschenuhren u. s. w. findet.

IV. Abschnitt.

Von der Wärme.

364. Begriff der Wärme. Grund der Wärmeerscheinungen im Allgemeinen. Mit dem Worte Wärme verbindet man dreierlei Begriffe. Man bezeichnet damit: 1. eine eigenthümliche Empfindung, die durch Anregung unseres Gemeingefühles von Seite mit uns in Berührung oder in Annäherung kommender Körper u. s. w. hervorgerufen wird; 2. den Zustand, in welchem die Körper sich befinden, während sie diese Empfindung in uns anregen, und in welchem man sie warm nennt (kalt und Kälte sind Bezeichnungen für geringere Grade von warm und Wärme in dem eben angegebenen Sinne), und 3. den letzten physikalischen Grund der besagten Empfindung, des dieselbe anregenden Körperzustandes und überhaupt aller andern Wärmeerscheinungen. Diesen Grund bildet, nach der Ansicht der meisten Physiker, ein eigener, äußerst feiner Stoff, Wärmestoff genannt, von dem man annimmt, daß seine Theilchen einander abstoßen, zwischen ihnen und den Theilchen der Körper aber Anziehung herrsche, daß durch dessen Ausströmen aus den Körpern die Erkaltung der letzteren, durch dessen Eindringen zwischen die Theilchen derselben ihre Erwärmung bewirkt werde u. s. w.; nach einer andern neuern Hypothese ist die Ursache der Wärmeerscheinungen eine schwingende Bewegung der Körper- und der Aethertheilchen, die jedoch von der beim Licht vorausgesetzten durch Schwingungsdauer und Wellenlänge verschieden ist, u. s. w. In eine weitere Auseinandersetzung des Wesens und in eine Würdigung des relativen Werthes der beiden Hypothesen läßt sich füglich erst dann eingehen, nachdem wir die Erscheinungen und Wirkungen, welche die Wärme hervorbringt, werden kennen gelernt haben. Allein da es das Verständniß dieser Erscheinungen und Wirkungen, deren Betrachtung nun folgt, bei der in der Wärmelehre allgemein üblichen Sprachweise sehr erleichtert, wenn man von der Wärme in der 3. Bedeutung des Wortes immer so spricht, als wäre sie ein Stoff von oben angegebener Beschaffenheit; so wollen wir vorläufig auch diese Vorstellung und zwar um so mehr festhalten, als, wie schon jetzt bemerkt werden kann, die Hypothese einer schwingenden Bewegung, so viel sie für sich hat, über die vor ihr allgemein anerkannt gewesenen Hypothese eines Wärmestoffes noch bei weitem nicht entschieden die Oberhand errungen hat.

365. Allgemeines Verhalten der Wärme in der Körperwelt. In dieser Beziehung nöthigen die Erscheinungen (und wir werden uns hiervon in Späterem überzeugen), zu Annahmen, von denen vorläufig folgende angeführt werden müssen: 1. Jeder Körper enthält unter allen Umständen Wärme; gänzlicher Mangel an Wärme findet in der Natur gar nirgends statt. Ein Theil dieser Wärme wird von dem Körper vollständig festgehalten (gebunden) und hierdurch jeder unmittelbaren Einwirkung auf die Umgebung des Körper unfähig; ein anderer Theil hingegen bleibt frei, und dieser kann auf andere Körper, auf das Gefühl u. s. w. einwirken. Durch diesen freien Wärmeantheil befindet sich daher der Körper in einem gewissen Zustande von Wirksamkeit nach außen, in dem Zustande fühlbarer Wärmeäußerung, und dieser Zustand macht dasjenige aus, was die Temperatur des Körpers heißt und durch das Thermometer (S. 23) angezeigt und gemessen wird. Es sind demnach Wärme (Wärmemenge) und Temperatur eines Körpers von einander wohl zu unterscheiden, (letztere ist nur ein gewisser Grad von Aeußerung der ersteren). 2. Die Wärme kann sich sowohl in einem und demselben Körper, von Theilchen zu Theilchen, als auch in einem Systeme von Körpern von einem Körper zum andern hin bewegen. Zu Folge einer solchen Bewegung erfolgt in jedem Systeme unter einander in Berührung stehender materieller Theilchen oder Körper ungleicher Temperatur allmälig eine Ausgleichung der letzteren, indem die wärmeren so lange an Wärme verlieren, die kälteren hingegen gewinnen, bis diese Ausgleichung zu Stande gekommen ist (es findet dabei aber nicht bloß von den wärmeren Theilchen oder Körpern zu den kälteren hin, sondern auch umgekehrt Bewegung der Wärme statt, nur geben die ersteren an die letzteren mehr Wärme ab, als sie in derselben Zeit von ihnen empfangen). 3. Die in Rede stehende Bewegung erfolgt auf zweierlei Weise, nämlich entweder so, daß die Wärme alle materiellen Theilchen, die sie passirt, erwärmt, oder es kann die Wärme von einem materiellen Theilchen oder Körper zu einem andern, jedoch ohne der Erwärmung der dazwischen befindlichen zu bedürfen, übergehen. Man bezeichnet die erste Art der Wärmebewegung mit dem Worte Wärmeleitung, die zweite Art, wegen der Uebereinstimmung zwischen ihr und der Bewegung des Lichtes, mit dem Ausdrucke „Wärmestrahlung" und unterscheidet geleitete und strahlende Wärme. Die Wärmeleitung ist an die Materie gebunden, die strahlende Wärme kann so wie das Licht sich auch durch den leeren Raum hindurch bewegen.

366. Ausdehnung der Körper durch die Wärme. Schon in **12** haben wir diese allgemeinste Wirkung der Wärme besprochen und dargethan, daß alle Körper durch Wärme ausgedehnt werden, d. h. eine Vergrößerung ihres Volums erfahren, daß hingegen beim Erkalten das Volum abnehme, und daß die besagte Vergrößerung und Abnahme von dem Grade der Erwärmung und der Erkaltung abhänge. Der Erfahrung gemäß dehnen sich überall gleich dichte Körper nach allen Richtungen hin gleich stark aus.

Von dieser Regel machen, nach Mitscherlich's Entdeckung, die nicht ins tessularische System gehörigen Krystalle eine Ausnahme, indem sie nach verschiedenen Richtungen verschieden stark sich ausdehnen. Die dem rhomboedrischen und pyramidalen Systeme angehörigen dehnen sich nach der Hauptaxe anders als nach den Nebenaxen, nach allen diesen aber gleich stark aus; den Krystallen der übrigen Systeme aber kommt nach der Richtung jeder Axe ein anderer Grad der Ausdehnung zu.

Ausdehnung fester Körper. Feste Körper dehnen sich in der Wärme nur wenig, je nach ihrer materiellen Beschaffenheit bei derselben Temperaturzunahme um ungleich viel aus, und ihre Ausdehnung ist dieser Zunahme nicht proportional, sondern beträgt in höheren Temperaturen (für gleiche Temperaturveränderung) mehr als in niedern. . . . . (175)

Es wurde für eine große Zahl fester Körper durch sehr genaue Versuche und Messungen die Größe der Ausdehnung in der Wärme, meistens aber nur nach einer Dimension z. B. nach der Länge bestimmt. Man braucht auch nicht mehr; denn kennt man diese (die sogenannte lineare) Ausdehnung, so findet man leicht die Größe der Ausdehnung nach allen 3 Raum-Dimensionen, d. i. die kubische Ausdehnung, da dieselbe (unter Voraussetzung gleicher Ausdehnung nach allen Richtungen, also gleichförmiger Dichte der Körper) sehr nahe der dreifachen linearen Ausdehnung gleich ist*). Unter allen festen Körpern dehnen sich am stärksten die Metalle aus. Die folgende Tabelle gibt für sie und einige andere feste Körper die lineare Ausdehnung, d. i. den aliquoten Theil ihrer ursprünglichen Länge an, um welchen sie sich bei einer Erwärmung von 0° bis 80° **R.** ausdehnen. Eine größere Tabelle (die Tabelle **XV** nämlich) findet sich am Ende des Buches.

Marmor	um	$^1/_{1770}$	d. i.	um	1	auf	1770	der	Länge	bei	0°
Gewöhnliches Glas **)	"	$^1/_{1167}$	"	"	1	"	1167	"	"	"	"
Flintglas	"	$^1/_{1248}$	"	"	1	"	1248	"	"	"	"
Platin	"	$^1/_{1167}$	"	"	1	"	1167	"	"	"	"
Gewöhnliches Glas	"	$^1/_{1161}$	"	"	1	"	1161	"	"	"	"
Tannenholz	"	$^1/_{1123}$	"	"	1	"	1123	"	"	"	"
Gußeisen	"	$^1/_{901}$	"	"	1	"	901	"	"	"	"
Weiches Schmiedeisen	"	$^1/_{819}$	"	"	1	"	819	"	"	"	"
Eisendraht	"	$^1/_{812}$	"	"	1	"	812	"	"	"	"
Gold	"	$^1/_{682}$	"	"	1	"	682	"	"	"	"
Kupfer	"	$^1/_{581}$	"	"	1	"	581	"	"	"	"
Messing	"	$^1/_{592}$	"	"	1	"	592	"	"	"	"
Silber	"	$^1/_{524}$	"	"	1	"	524	"	"	"	"
Stahl	"	$^1/_{480}$	"	"	1	"	480	"	"	"	"
Zinn	"	$^1/_{460}$	"	"	1	"	460	"	"	"	"
Blei	"	$^1/_{351}$	"	"	1	"	351	"	"	"	"
Zink	"	$^1/_{340}$	"	"	1	"	340	"	"	"	"

*) Die Richtigkeit dieses Satzes ergibt sich aus Folgendem. Ist a die dem Körper bei der ursprünglichen Temperatur eigene (in Längeneinheiten ausgedrückte) Dimension, auf welche sich die als bekannt vorausgesetzte lineare Ausdehnung bezieht, $\frac{1}{m}$ die lineare Ausdehnung des Körpers nach dieser Dimension und bei einer bestimmten Temperaturerhöhung, d. h. beträgt bei dieser Erhöhung die Ausdehnung nach der besagten Dimension für jede Längeneinheit den mten Theil derselben; bedeutet ferner v das Volum des betreffenden Körpers vor der Temperaturerhöhung und endlich $\frac{1}{\mu}$ die durch diese Erhöhung bewirkte Zunahme jeder Volumseinheit (wieder in aliquoten Theilen derselben ausgedrückt); so geht offenbar durch die Temperaturerhöhung die Dimension a in $a + \frac{a}{m}$ und das Volum v in $v + \frac{v}{m}$ über. Denkt man sich den Körper würfelförmig, wo dann $v = a^3$ und $v + \frac{v}{\mu} = \left(a + \frac{a}{\mu}\right)^3$ und $\frac{1}{\mu}$ die kubische Ausdehnung ist, und setzt man Kürze halber $\frac{1}{m} = \alpha$, ferner $\frac{1}{\mu} = \beta$; so hat man $v : v + \beta v = a^3 : (a + \alpha a)^3$ $= a^3 : a^3 (1 + 3\alpha + 3\alpha^2 + \alpha^3)$ oder, wenn man α^3 und $3\alpha^2$ in Bezug auf α, welches ein sehr kleiner Bruch ist, vernachläßigt und das erste Verhältniß mit ve das andere mit a^3 dividirt, $1 : 1 + \beta = 1 : 1 + 3\alpha$, mithin $\beta = 3\alpha$, d. h. die kubische Ausdehnung ist gleich der 3fachen linearen und dies will sagen, daß, wenn sich z. B. ein Stück Eisen von der Länge eines Zolles beim Erwärmen von 0° bis 80° R. um $^1/_{819}$ Zoll verlängert, ein Kubikzoll Eisen bei dieser Erwärmung um $^3/_{819}$ eines Kubikzolles an Volum zunehme.

**) Nach Regnault's Versuchen schwankt die Ausdehnung verschiedener Glassorten zwi-

Man nennt die Zahl, welche anzeigt, um den wievielten Theil seiner Länge bei 0° ein fester Körper sich ausdehnt, wenn er von 0° bis 80° R. erwärmt wird, den Ausdehnungscoefficienten dieses Körpers. . . . . . (176)

Schon oben (175) wurde angeführt, daß die Ausdehnung eines festen Körpers durch die Wärme nicht in gleichem Grade wie die Temperatur zunimmt, sondern bei höheren Temperaturen immer mehr und mehr beträgt, je näher diese der Temperatur seines Schmelzens (seinem Schmelzpunkte) kommen. Indessen kann man doch für alle Temperaturen zwischen 0° und 80° R. die Ausdehnung eines festen Körpers als seiner Temperatur proportional betrachten. . . . . (177)

Ausnahmen von diesen Regeln machen der Schwefel und Rose's leicht schmelzbares, aus 2 Theilen Wismuth, 1 Theil Blei und 1 Theil Zinn bestehendes Metallgemisch. Bei ersterem (dem Schwefel) bleibt in höheren Temperaturen die Ausdehnung hinter diesen zurück, und letzteres (das Rose'sche Metallgemisch) dehnt sich nur bis zur Temperatur von 35°·2 R. stufenweise aus, bei weiterer Erwärmung zieht es sich rasch zusammen, so daß es bei 55°·2 R. am dichtesten ist und daselbst eine größere Dichte hat als bei 0°.

Die Ausdehnung durch die Wärme geschieht mit unwiderstehlicher Gewalt. Hieraus und aus dem Umstande, daß die verschiedenen festen Körper bei derselben Temperaturveränderung sich ungleich stark ausdehnen, ergibt sich 1.) die Erklärung vieler Erscheinungen, und 2.) beruht darauf die Einrichtung und Wirkung mehrerer sehr nützlicher Apparate und Vorrichtungen.

Ad 1.) Eiserne Klammern, womit die Schluß- oder andere Steine an Wohngebäuden, Brücken 2c. 2c. verbunden sind, zerreißen nicht selten bei starkem Froste, werfen und biegen sich in der heißen Jahreszeit, weil sie sich im ersteren Falle viel stärker zusammenziehen, im letzteren weit mehr ausdehnen als die Steine; eingemauerte Dampfkessel und Sudpfannen und ebenso Dampf- oder Wasserleitungsröhren aus Metall müssen im Gemäuer hinreichend freien Spielraum haben, oder es müssen die besagten Röhren an einzelnen Zusammenfügungsstellen etwas in einander stecken und, wie die Auszugröhren an Perspektiven, dampf- oder wasserdicht in einander verschiebbar (mit sogenannten Ausgleichungsstellen versehen) sein, so daß sie, ohne auf die Umgebung einzuwirken, sich verlängern und verkürzen können, weil sonst beim Heizen der Kessel oder Pfannen und beim Durchleiten von heißem Dampf oder Wasser durch die Röhren das Gemäuer zerspringt, oder Kessel, Pfannen und Röhren beschädigt werden u. s. w. Bei den Eisenbahnen dürfen die nacheinander folgenden Schienenstücke nicht in unmittelbarer Berührung stehen, und bei Flachschienen müssen die zu ihrer Befestigung dienenden Nägel in den Löchern, durch die sie gehen, immer etwas Spielraum haben, weil sonst, z. B. bei stärkerer Temperaturzunahme, eine Verrückung der Unterlagen, ein Ausziehen der Nägel oder eine Biegung der Schienen eintreten würde. Wegen der stärkeren Ausdehnung der Metalle im Verhältnisse zu Holz und zu erdigen Substanzen werden die Nägel, womit auf ersterem Bleche (z. B. bei Bedachungen) festgemacht sind, in der Hitze (wo die Bleche sich biegen und vom Holze aufstehen) mehr weniger ausgezogen; das Email der eisernen Kochgeschirre löst sich ab und zerspringt, (daß bei Porzellan weniger als bei Steingut die Glasur springt und sich abschält, kommt daher, daß diese bei ersterem mit der Unterlage in Bezug auf Ausdehnung viel homogener ist, als bei letzterem). Aneinandergeschmolzene Glasstücke vertragen nur dann eine größere Temperaturveränderung ohne an der Vereinigungsstelle aus einander zu springen, wenn sie aus ganz gleichem Glase (aus Glas aus dem nämlichen Schmelztiegel oder Schmelzhafen) bestehen. Platin, z. B. als Draht, läßt sich in Glas einschmelzen und bleibt damit auch bei starker Abkühlung fest vereinigt (weil beide Substanzen eine fast gleich starke Ausdehnung in der Wärme besitzen), während Drähte von andern Metallen, wenn sie in Glas eingeschmolzen werden, sich beim Erkalten des letzteren, wo sie sich viel mehr zusammenziehen als dieses, sogleich loslösen, so daß sie dann im Glase nicht mehr feststecken. Das Krachen und Auseinanderspringen der Theile an Möbeln, Oefen u. s. w., woran verschiedene Holzgattungen zusammengeleimt, verschiedene Metalle durch Nieten u. s. w. vereinigt sind, gehört ebenfalls hieher.

Ad 2.) Folgende unter A bis F beschriebene, sehr nützliche Apparate und Vorrichtungen

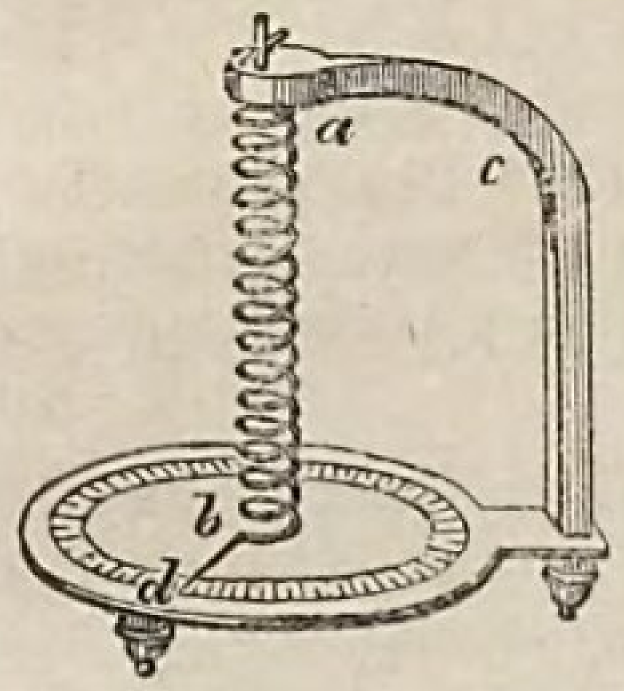
---

schen sehr weiten Grenzen; es ist die Ausdehnungsgröße einer und derselber Glassorte ungleich, jenachdem sie die Röhrenform besitzt oder zu Kugeln verschiedener Größe aufgeblasen ist, und es nimmt diese Größe zu, wenn der Durchmesser der Kugel wächst, oder vielmehr die Wandbicke abnimmt.

beruhen auf der ungleichen Ausdehnung verschiedener Metalle durch die Wärme. Die ersteren gründen sich insbesondere alle darauf, daß ein Streifen, der aus zwei oder drei übereinandergelegten und durch Zusammenlöthen oder Zusammennieten ihrer ganzen Länge nach vereinigten Streifen verschiedener Metalle besteht, wenn er bei einer gewissen Temperatur geradlinig war oder eine bestimmte Krümmung hatte, sich krümmen oder seine ursprüngliche Krümmung ändern muß, sobald eine Aenderung dieser Temperatur eintritt; offenbar wird dies nach Maßgabe der Temperaturveränderung so geschehen, daß bei Temperaturzunahme die Krümmung oder ihre Vermehrung nach der Seite des sich weniger ausdehnenden Metalles hin, bei Temperaturabnahme dagegen in umgekehrter Richtung stattfindet.

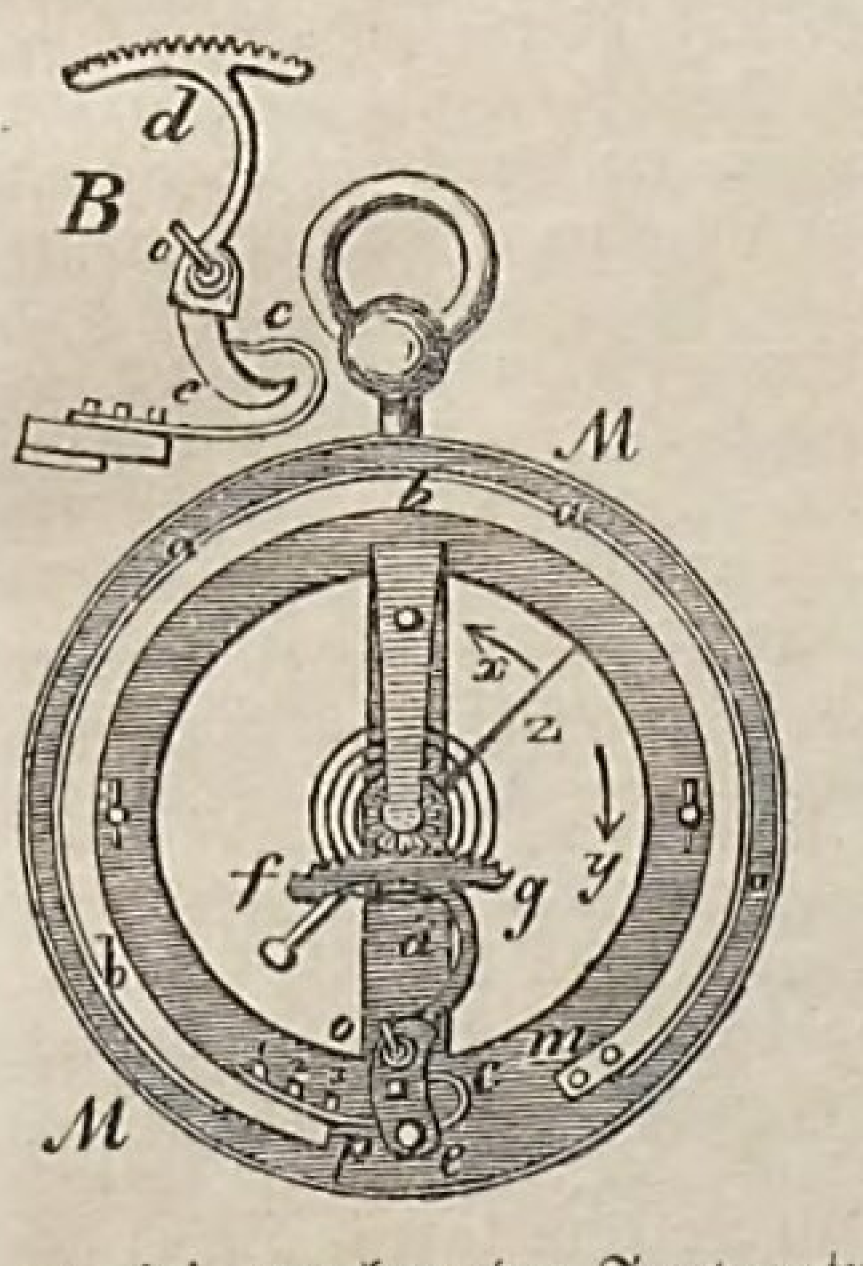
A). Brequet's Thermometer. Es besteht aus einem $\frac{1}{2}-1'''$ breiten, spiralförmig gewundenen Streifen ab (Fig. 715), welcher aus drei gleich langen Plättchen von Platin, Gold und Silber, die mit den breiten Flächen und so, daß das Gold in der Mitte sich befindet, aneinander gelöthet sind, gebildet, oben an dem Messingbogen c festgemacht und am untern, frei herabhängenden Ende mit einem sehr leichten Zeiger d versehen ist, der horizontal über einer kreisrunden, sonst gewöhnlichen Thermometerscale schwebt, welche empirisch nach den Anzeigen eines Quecksilberthermometers bestimmt wird. Da das Gold sich nahe $1\frac{1}{2}$ mal und Silber mehr als doppelt so stark wie Platin ausdehnt, so wird, je nachdem die Temperatur zu- oder abnimmt, die Spirale auf- oder zugewunden und die Zeigerspitze nach einer oder der andern Seite an der Kreisscale hingeführt.

Fig. 715.



B). Holzmann's Metallthermometer (Taschenthermometer) hat äußerlich die Gestalt einer Sackuhr. Den eigentlichen thermometrischen Theil daran bildet ein kreisförmig gebogener Doppelstreifen a b (Fig. 716, das Innere des Gehäuses nach Wegnahme der rückwärtigen Wand desselben darstellend) aus Eisen oder Platin (a) und Messing (b). An dem einen Ende m ist derselbe am Gehäuse festgeschraubt, am andern Ende p trägt er einen mittelst Schräubchen 1, 2, 3 befestigten Bügel, dessen aufwärts gebogenes Ende c (in der Art, wie man deutlich bei B sieht) auf den kürzeren Arm eines Winkelhebels d e wirkt, der in o seinen Drehpunkt und am längern Arm ein gezähntes Bogenstück (einen Rechen) f g trägt, dessen Zähne in ein Getriebe eingreifen, das an der Axe eines Zeigers z angebracht ist. Dieser Zeiger spielt über einer gewöhnlichen Thermometerscale, die nahe dem Gehäusrande auf der zweiten Seite der den Doppelstreifen a b tragenden ringförmigen Messingplatte M im Kreise herum, wie die Theilung eines Zifferblattes verzeichnet ist, und auf seine Axe wirkt eine feine Spiralfeder der Art, daß der Winkelhebel d e mit dem Ende c des obbesagten Bügels stets in Berührung erhalten wird. Da der Doppelstreifen a b bei zunehmender Temperatur sich auf-, bei abnehmender hingegen mehr zusammenbiegt, so wird offenbar die Bewegung des Zeigers z im ersteren Falle nach x, im letzteren nach y hingehen.

Fig. 716.

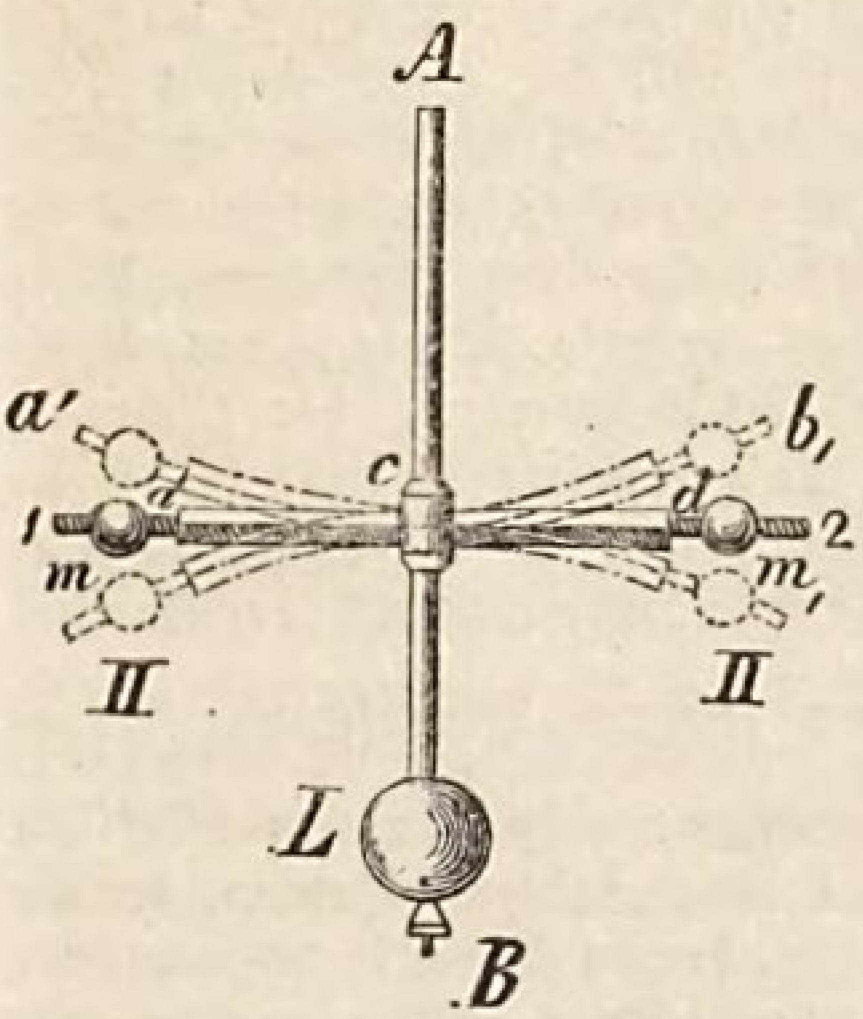


Schon auf Seite 108 wurde angeführt, daß, damit die Schwingungen eines Pendels oder einer Unruhe stets isochron (gleichzeitig) sind, der Einfluß der Wärme auf Pendel oder Unruhe aufgehoben werden müsse, und daß dies der Zweck der verschiedenen Compensationsvorrichtungen für Pendel und Unruhe sei. Bei Aenderung der Temperatur erfährt nämlich die Pendelstange eine Verkürzung oder Verlängerung, mithin der Schwingungspunkt eine Verrückung näher an den Aufhängepunkt (Drehpunkt) des Pendels hin oder von demselben hinweg. Im ersteren Falle wird die Länge des Pendels geringer und dieses schwingt schneller, und im zweiten Falle findet das Entgegengesetzte statt. Ferner wird bekanntlich bei den Taschenuhren die Bewegung des Räderwerkes durch die sogenannte Unruhe (man sehe S. 108 und Fig. 79) d. i. ein Metallrädchen regulirt, welches durch die Elastizität einer abwechselnd sich zusammen- und nachher wieder aufwindenden Spiralfeder in Schwingungen versetzt wird, und diese Schwingungen müssen ebenso, wie jene eines Pendels, stets ganz gleichzeitig (isochron) erfolgen, wenn die Uhr ein genaues Zeitmaß liefern soll. Nun erhalten aber bei eintretender Temperaturveränderung die Unruhe und die Spiralfeder andere Dimensionen und dies hat nothwendig eine Aenderung in der Elasticität der letzteren und in der Wir-

kung dieser Kraft auf die Unruhe, mithin auch in der Schwingungsdauer derselben zur nothwendigen Folge. Nachstehende Compensationsvorrichtungen beheben die besagte Störung der Gleichzeitigkeit (des Isochronismus) der Schwingungen in ganz entsprechender Weise und dürfen daher an, auf Richtigkeit Anspruch machenden Pendeluhren und Chronometern nicht fehlen.

C). Martin's Pendel-Compensation. A B Fig. 717 ist die Pendelstange; a c und c d sind zwei Doppelstreifen (oben beschriebener Art) aus Eisen und Kupfer, die an

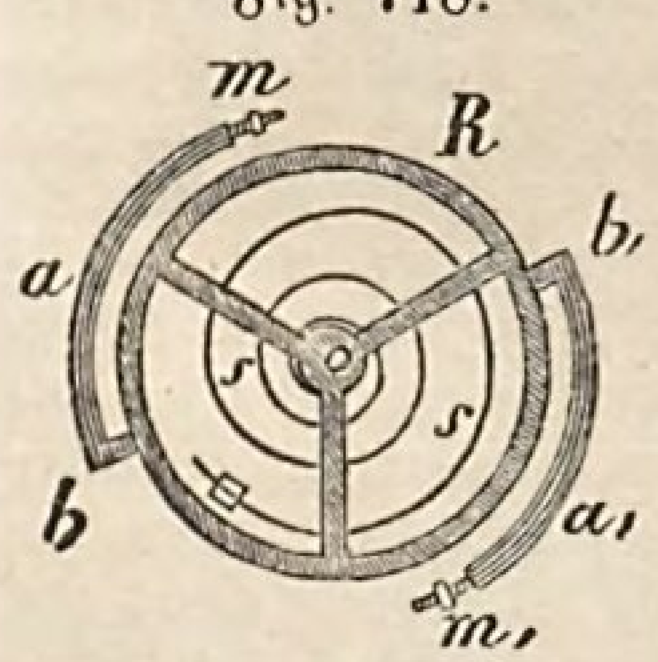
Fig. 717.



irgend einem Punkte (bei c) der Pendelstange, senkrecht auf die Richtung derelben, befestigt und an den Enden mit Metallmassen m, m_1 versehen sind, die sich mittelst der Schrauben 1, 2 näher oder weiter von der Pendelstange feststellen lassen und mit den besagten Doppelstreifen einen Theil des ganzen zusammengesetzten Pendels ausmachen. Gesetzt beide Doppelstreifen wären bei einer gewissen Temperatur z. B. 8° R. geradlinig und das Pendel für diese Temperatur genau ein Sekundenpendel, so werden bei Zunahme der Temperatur, — während die Pendelstange sich ausdehnt, der schwere (gewöhnlich linsenförmige) Körper L daran sinkt und durch dieses Wegrücken der Masse, mithin auch des Schwingungspunktes vom Aufhänge- oder Drehpunkte A die Länge des Pendels wächst — sich die Doppelstreifen wegen stärkerer Ausdehnung des Kupfers (aus dem die untern Theile der Doppelstreifen bestehen) im Verhältniß zum Eisen nach oben (in die punktirte Stellung a' c b_1) krümmen, und das hierdurch bewirkte Aufwärtsrücken von Masse, insbesondere der Massen m, m_1 wird das besagte Wegrücken der Masse und des Schwingungspunktes vom Drehpunkte A aufheben (compensiren) können. Sinkt hingegen die Temperatur unter 8° R., so werden, — während die Pendelstange sich verkürzt (zusammenzieht) und die Gesammtmasse des Pendels dem Anhängepunkte näher rückt, — die Doppelstreifen sich nach abwärts (in die punktirte Stellung II) krümmen und so aus gleichem Grunde, wie vorhin der Ausdehnung, jetzt der Zusammenziehung der Stange A B entgegenwirken. Nach der bekannten Ausdehnungsgröße der Metalle, (daß man dem Eisen und Kupfer des Doppelstreifens auch zwei andere Metalle von größerer Ausdehnungsverschiedenheit substituiren könne, leuchtet von selbst ein,) lassen sich leicht die Dimensionen berechnen, die man den verschiedenen Theilen des beschriebenen Apparates zu geben hat, um die Compensation in nahe völliger Schärfe zu erhalten, und es kann dann, — indem man den Gang des Pendels mit jenem der Sterne vergleicht und so lange immer um sehr wenig die Entfernung der Massen m und m_1 von der Pendelstange ändert, bis die höchsten Temperaturveränderungen, die vorkommen können und die man mit Absicht künstlich erzeugt, keinen störenden Einfluß auf die Schwingungen des Pendels mehr üben, — leicht die schärfste Compensation erreicht werden.

D). Unruh-Compensation. Sie besteht ebenfalls aus zwei Doppelstreifen a, a_1 (Fig. 718) die von den bei der Pendelcompensation beschriebenen nur der Größe nach verschieden, (um den Raum, den die Unruhe im Gehäuse einnimmt, nicht ohne Noth übermäßig zu vergrößern), gleich anfänglich gekrümmt und an dem

Fig. 718.

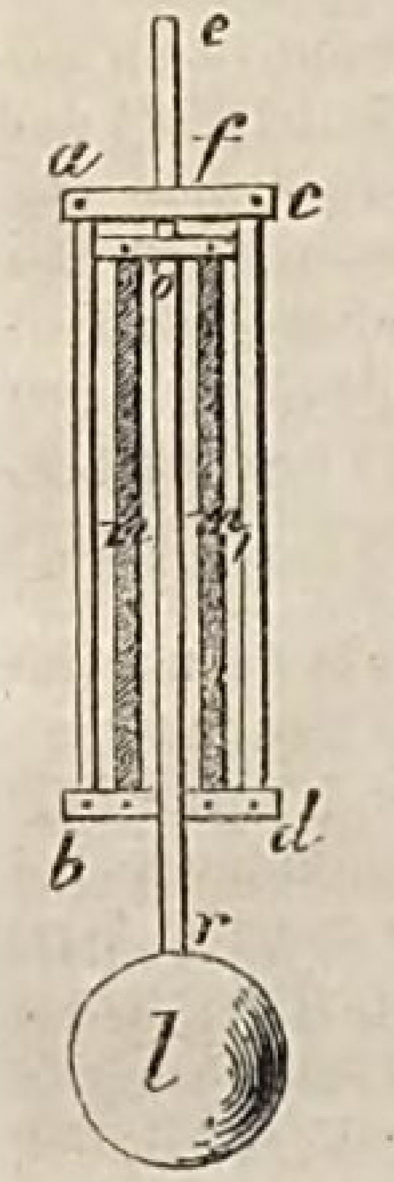


Unruh-Rädchen R in aus der Figur ersichtlicher Weise befestigt sind. Die äußere Lamelle jedes der krummen Doppelstreifen besteht gewöhnlich aus Messing, der innere aus Stahl. Die kleinen Massen m, m_1, welche auf Schrauben an den Enden der Doppelstreifen laufen und sich den Befestigungspunkten b, b_1 nähern, oder von denselben entfernen lassen, bestehen aus Gold. Mit Veränderung der Temperatur wird nun auch eine Veränderung in der Krümmung der compensirenden Doppelstreifen und dem zu Folge Annäherung oder größere Entfernung der Massen m, m_1 in Bezug auf den Mittelpunkt o der Drehung der Unruhe eintreten. Es wirken dann im ersteren Falle die Massen m, m_1 an einem kürzeren, im letzteren hingegen an einem längeren Hebelarme auf den Mittelpunkt o, und es wird die Spiralfeder s im ersten Falle weniger, im zweiten mehr Kraft zur Drehung der Unruhe bedürfen. Ordnet man daher die zwei ungleichartigen Metalle, aus denen die Doppelstreifen bestehen, so an, daß die besagte Annäherung der Massen m, m_1 an o bei Temperaturzunahme, welche die Feder schwächt, die Entfernung davon hingegen bei Temperaturerniedrigung, die eine Erhöhung der Federkraft zu Folge hat, stattfindet; so wird man es durch allmäliges Verstellen der Massen m, m_1 immer dahinbringen können, daß das Moment dieser letzteren (überhaupt der ganzen Masse der Unruhe) in Bezug auf o ebenso ab- und zunimmt, wie die Federkraft, diese daher relativ d. h.

im Verhältniß zu der durch sie in Bewegung zu setzenden Masse bei allen Temperaturveränderungen stets gleich bleibt.

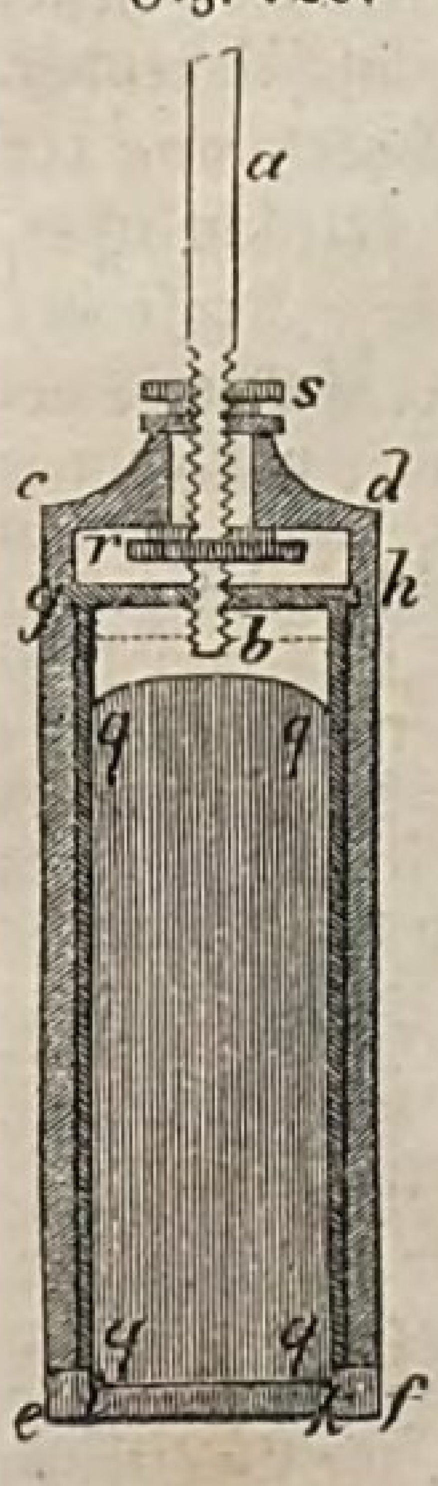
E). Das Rostpendel (rostförmige Pendel). Fig. 719 macht die einfachste Art eines solchen Pendels anschaulich. a b d c ist ein Rahmen aus Eisenstäben, der im Punkte e mittelst des kurzen ebenfalls eisernen Stabes e f aufgehangen wird. m, m_1 sind auf dem Querstücke b d festgemachte Stäbe aus Zink, welche oben durch ein horizontales Stück in Verbindung stehen, an dem wieder eine Eisenstange o r hängt, die durch ein Loch in bd frei hindurchgeht und die Linse l trägt. Steigt nun die Temperatur, so sinkt die Linse wegen Verlängerung der Eisenstäbe a b, cd, ef und or nach abwärts, wegen der Ausdehnung der Zinkstäbe m und m_1 wird sie aber gleichzeitig gehoben und es wird, da Zink sich viel stärker ausdehnt als Eisen, bei gehörigem Längenverhältnisse der Eisen- und Zinkstäbe, das besagte Sinken der Linse gerade so viel betragen als das gleichzeitige Gehobenwerden, der Schwingungspunkt daher unverrückt und mithin auch die (reducirte) Länge des Pendels unverändert bleiben. Man erhält die zur Compensation erforderliche Länge x einer der Zinkstangen in jedem einzelnen Falle sehr nahe mittelst der Formel $x = l \cdot \frac{e}{z - e}$ . . . (1), wo l die Länge der eisernen Pendelstange, vom Anhängepunkt bis zum Centrum der Linse gemessen, e und z die relativen Ausdehnungen des Eisens und des Zinkes d. h. die Zahlen bedeuten, welche angeben, wie sich die lineare Ausdehnungen der beiden Metalle zu einander verhalten. Man kann im Mittel e = 117 und (gegossenes Zink vorausgesetzt) z = 296 Hunderttausendtel der Länge annehmen, wo dann in der Gleichung (1) der Faktor $\frac{e}{z - e} = \frac{11}{17}$ wird.

Fig. 719.



F). Das Pendel mit Quecksilber-Compensation. Obgleich bei der Quecksilber-Compensation die Ausdehnung einer Flüssigkeit (des Quecksilbers) die Hauptrolle spielt, und von der Ausdehnung flüssiger Körper durch die Wärme erst in einem folgenden Absatze gehandelt werden wird, so soll doch hier schon als an dem passendsten Orte von dieser Compensation die Rede sein und zu diesem Ende dem erwähnten Absatze mit der Bemerkung vorgegriffen werden, daß das Quecksilber bei allen Temperaturveränderungen, die eine Pendeluhr treffen können, sich der Wärme Zu- und Abnahme vollkommen proportional ausdehne und zusammenziehe. Es besteht dieses Pendel aus einer eisernen Stange a b (Fig. 720), deren unteres, mit einem feinen Schraubengewinde versehenes Ende b durch das obere Querstück c d eines eisernen (oder auch messingenen) Rahmens c d e f durchgeht, welches an der Durchgangsstelle etwas verstärkt ist. An seinen Schenkeln c e und d f ist unten ein Ring e f angenietet oder festgeschraubt, welcher inwendig ein kleine Einsenkung hat, um das untere, mit einem Boden versehene Ende des Glascylinders g h i k aufzunehmen. In diesen paßt oben ein messingener, an seiner ganzen Oberfläche gefirnißter Deckel g h, dessen breiter Rand an den einander diametral entgegengesetzten Stellen g, h so eingeschnitten ist, daß er die Rahmenschenkel c e und d f einschließt (umklammert), wodurch Deckel und Rahmen eine festere Position erhalten. Bei r befindet sich eine eingetheilte mikrometrische Schraubenmutter, welche den Rahmen und den eine entsprechende Quantität Quecksilber enthaltenden Glascylinder trägt, und zur Regulirung des Ganges der Uhr dient. Die Gegenschraubenmutter s hat die Bestimmung, Quecksilbergefäß und Pendelstande noch fester mit einander zu verbinden. (Da das Quecksilbergefäß zugleich die Stelle der an der Pendelstange sonst immer vorhandenen schweren Masse vertritt, so ist es aus in der Anmerkung auf S. 359 angegebenen Grunde gut, sich der gewöhnlichen linsenförmigen Gestalt dieser Masse dadurch zu nähern, daß man dem Glasgefäße die Form eines nach der Richtung seines Durchmessers zusammengedrückten Cylinders gibt, der dann im nach derselben Richtung geführten Querschnitte ganz wie ein Querschnitt der besagten linsenförmigen Masse gestaltet ist und so wie diese nach den Schwingungsseiten hin scharfe, die Luft leicht durchschneidende Kanten gekehrt hat.) Daß diese Einrichtung den Zweck hat, die Ausdehnung der Pendelstange und des Rahmens von Eisen nach abwärts durch die nach aufwärts stattfindende Ausdehnung eines im Glascylinder enthaltenen Quecksilbercylinders zu compensiren, ist für sich klar. Da sich annehmen läßt, der Schwingungspunkt des Pendels

Fig. 720.



befinde sich in der Mitte des besagten Quecksilbercylinders, d. i. in der halben Höhe desselben; so muß offenbar zur Erreichung der erwähnten Compensirung dieser Punkt durch die Ausdehnung des Quecksilbers gerade um so viel gehoben werden, als er durch die Ausdehnung der Pendelstange und des Rahmens sinken gemacht wird, mithin muß der ganze Quecksilbercylinder (qqqq) so hoch sein, daß die Ausdehnung seiner halben Höhe genau so viel beträgt, als die Verlängerung der Pendelstange (ab) und eines der Rahmen-Schenkel (ce, df) . . . (2). Bezeichnet man mit l die Länge des Pendels bis zum Mittelpunkt des Quecksilbercylinders (d. i. die Länge der Stange ab vermehrt um ce — x oder df — x), mit x die halbe Höhe dieses Cylinders, mit e und q die relativen Ausdehnungen des Eisens und Quecksilbers; so muß [gemäß (2), und wenn man berücksichtigt, daß der Mittelpunkt des Quecksilbercylinders nicht bloß zu Folge Ausdehnung einer Eisenstange von der Länge l, sondern auch des Schenkelstückes von der Länge x hinabsinkt] $le + xe = xq$ sein, woraus sich $x = l \cdot \frac{e}{q-e}$ ergibt. Setzt man wieder $e = 117$ und $q = 1750$ Hunderttausendtel der Länge, (bei welchem Werthe schon auf die Ausdehnung der Substanz des Glascylinders Rücksicht genommen worden); so hat man, da sehr nahe $e:q = 1:15$ ist, $\frac{e}{q-e} = \frac{1}{14}$, und daher, wenn z. B, $l = 37·728$ Wienerzoll (= der Länge des Sekundenpendels für Wien) gesetzt wird, $x = 37·728 \times \frac{1}{14} = 2·695$ Wienerzoll, also ist zur Compensirung dieses Pendels eine Quecksilbersäule von $2·695 \times 2 = 5·39$ Wienerzollen Höhe erforderlich. Die Vorzüge der Quecksilber-Pendelcompensation springen nun von selbst in die Augen. Ihre Ausführung ist eben so leicht als wenig kostspielig und die völlige Rectificirung hat gar keine Schwierigkeit, wenn man vorher durch Rechnung oder experimentell bestimmt hat, wie viel Quecksilber (dem Gewichte nach) der Höhe eines Schraubenganges der Abgleichungsschraube bei b gleichkommt. Es könnte das Bedenken entstehen, ob eine so bedeutende in Glas eingeschlossene Quecksilbermasse die Temperaturveränderung so schnell annimmt, als die dünne, frei in der Luft befindliche Eisenstange. Allein dieses Bedenken verschwindet, bei Erwägung einerseits, daß im verschlossenen Uhrkasten Wärmeveränderungen nie so schnell vor sich gehen können, und es andererseits nicht schwer hält, auch die Pendelstange durch Einschließen in ein Barometerrohr auf gleiche Weise gegen eine schnellere Annahme von Temperaturveränderungen zu verwahren. Ueberdieß läßt sich auch das Quecksilbergefäß leicht aus Eisen verfertigen.

367. Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten durch die Wärme. Bei allen Flüssigkeiten ist zwischen der scheinbaren und wirklichen Ausdehnung zu unterscheiden. Erstere ist diejenige, welche an, in Gefäßen (die sich selbst ausdehnen) enthaltenen Flüssigkeiten beobachtet wird, letztere aber jene, welche man an den Flüssigkeiten beobachten würde, wenn die sie einschließenden Gefäße sich nicht ausdehnten. Hier soll nur von der wirklichen Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten durch Wärme die Rede sein. Sie ist viel beträchtlicher, als bei festen Körpern (da bei diesen die Cohäsion der ausdehnenden Kraft der Wärme einen weit größeren Widerstand entgegensetzt,) und beträgt ebenfalls bei verschiedenen Flüssigkeiten ungleich viel, so daß einige sich viel stärker ausdehnen als andere. Erwärmt man z. B. die nachstehend aufgeführten Flüssigkeiten von 0^0 bis 80^0 R., so dehnen sie sich aus wie folgt:

Weingeist	um	$^1/_9$,	d. h.	9	Maße werden	10 Maße
Fette Oele	„	$^1/_{12}$	„ „	12	„ „	13 „
Wasser	„	$^1/_{22·76}$	„ „	22·76	„ „	23·76 „
Quecksilber	„	$^1/_{55·5}$	„ „	55·5	„ „	56·5 „

Die starke Ausdehnung des Weingeistes und Quecksilbers ist eine der Eigenschaften, welchen diese Flüssigkeiten ihre Anwendung als thermometrische Substanzen verdanken, und die große Ausdehnung der Oele ist im Handel wohl zu berücksichtigen (die verschlossenen Gefäße, worin sie z. B. versendet werden, dürfen damit nicht zu voll angefüllt sein, weil sie sonst bei stärkerer Temperaturzunahme platzen würden.

Die tropfbaren Flüssigkeiten dehnen sich, wie die Erfahrung lehrt, ebenfalls nicht gleichmäßig mit der Wärme aus, so daß auch hier bei höheren Temperaturen die Ausdehnung der Wärme voraus eilt und sogar der unter (177) S. 827 für feste Körper ausgesprochene Satz, die Ausdehnung könne für alle Temperaturen zwischen 0^0 und 80^0 R. als der Temperatur proportional betrachtet werden, für tropfbare

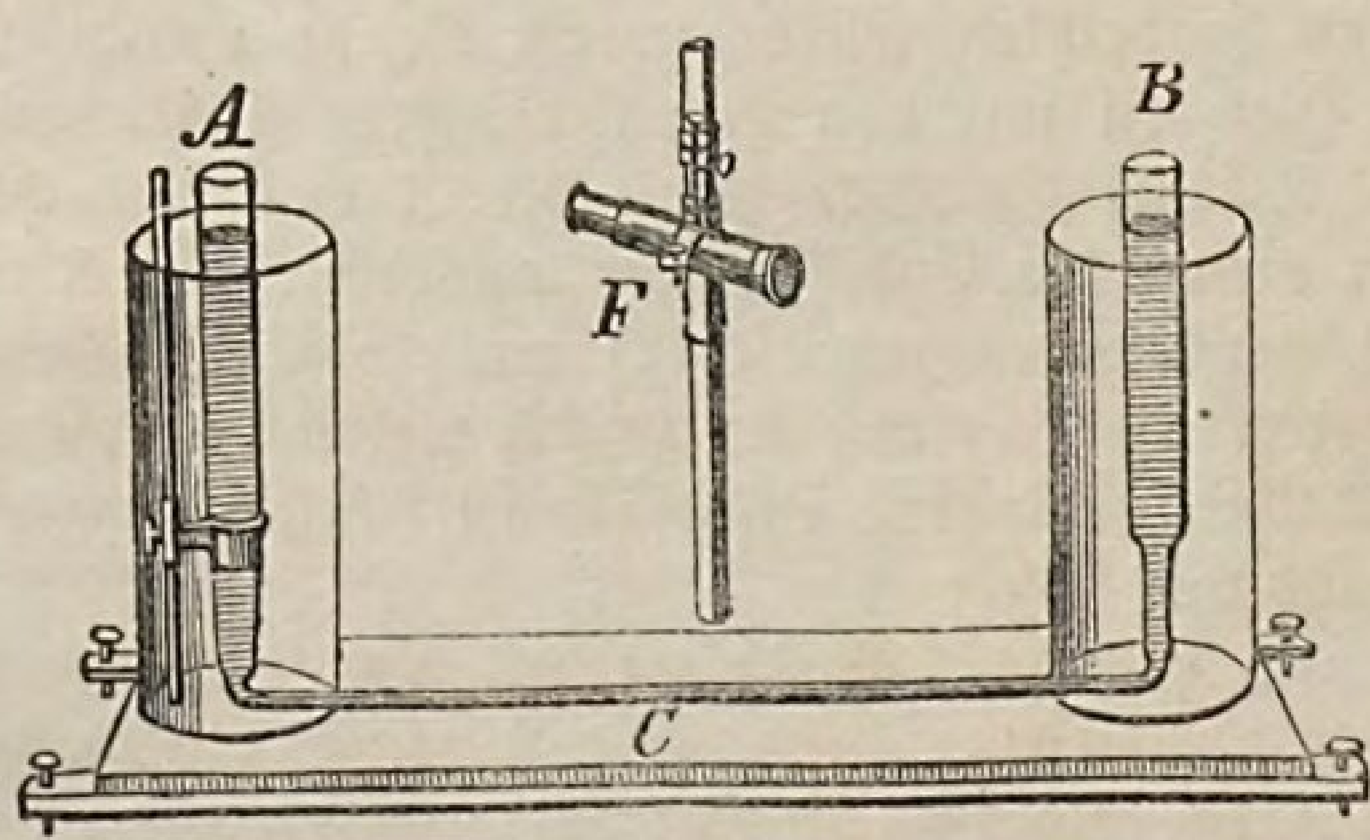
Flüssigkeiten bei weitem nicht allgemein gilt. Dem Quecksilber kömmt innerhalb der bezeichneten Temperaturgrenzen diese Proportionalität der Ausdehnung zu.

Es ist besonders wichtig, die Ausdehnung des Quecksilbers in der Wärme genau zu kennen, da man dasselbe vorzugsweise zu Thermometern verwendet und da diese Kenntniß zur Wärmecorrection der Barometerstände (**128**) und sonstigen Messungen erforderlich ist. Mit großer Sorgfalt wurde diese Ausdehnung von Dulong und Petit bestimmt*), und gefunden, daß sich das Quecksilber vom Gefrier- bis zum Siedpunkt des Wassers nach einer Dimension hin für jeden Celsius'schen Grad um $^1/_{5550}$stel (also für jeden Grad nach Reaumür um $^1/_{4440}$stel) dieser Dimension bei 0° ausdehnt, mithin eine Quecksilbersäule für jede Temperaturzunahme um 1° R. von 0° bis 80° R. hin immer um $^1/_{4440}$stel ihrer bei 0° stattfindenden Länge zunimmt (**128**), daß jedoch über 80° R. hinaus der Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers im steigenden Verhältnisse wachse. (Es beträgt nämlich die Ausdehnung für jeden Thermometergrad von 100° — 200° C. $^1/_{5425}$stel, und von 200° — 300° C. $^1/_{5300}$stel.) Die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers (die Ausdehnung dieser Flüssigkeit, wie sie in Glasröhren der Thermometer, Barometer u. s. w. erscheint) fanden dieselben Gelehrten für jeden Grad von 0° bis 100° C. = $^1/_{6480}$stel der Länge bei 0°. (Man sehe die Tabelle **XVI** über die Dichte und das Volum des Quecksilbers am Schlusse des Buches.)

Weit schwieriger als beim Quecksilber sind die Gesetze der Ausdehnung bei den übrigen tropfbaren Flüssigkeiten zu ermitteln, namentlich ist dies bei dem im ganzen Haushalte der Natur eine so vielseitige, überaus wichtige Rolle spielenden Wasser der Fall, welches die Eigenthümlichkeit besitzt, (und ähnlich verhalten sich auch

*) Ohne hier in eine genaue, ausführliche Beschreibung des Verfahrens, welches diese Gelehrten hiebei beobachteten, eingehen zu können, soll doch von ihrer angewandten Methode (die einzige, bei welcher die wirkliche Ausdehnung einer tropfbaren Flüssigkeit unmittelbar erhalten wird) im Allgemeinen eine Vorstellung gegeben werden. Es wird nach dieser Methode die betreffende Flüssigkeit in communicirende Röhren A C B (Fig. 721) gebracht, in einem Röhrenschenkel allmälig immer mehr erwärmt, während

Fig. 721.



man sie im andern Schenkel stets bei konstanter Temperatur, z. B. 0° erhält, und dann ihr Stand in beiden Schenkeln über dem Niveau der Röhre C gemessen. Dieses Messen geschieht mittelst eines sogenannten Kathetometers. Dasselbe besteht im Wesentlichen aus einem genau horizontal stellbaren Fernrohre, welches sich an einem vertikalen, massiven, prismatischen Stabe mittelst einer ihn umfangenden Hülse höher oder niedriger stellen läßt. Der Stab wird von einem Dreifuße getragen, ist mit einer Längenmaß-Theilung, und die besagte Hülse mit einem Nonius versehen, so daß äußerst kleine Höhenunterschiede in der Stellung des Fernrohrs am Stabe beobachtet werden können. Das Kathetometer wird in einiger Entfernung so aufgestellt, daß man bald die eine, bald die andere der beiden Röhren A und B ins Gesichtsfeld des Fernrohrs, (welches etwa die Stellung des Rohres F hat) bringen kann. Man visirt nun zuerst nach der Axe des horizontalen Verbindungsrohres C, dann nach der Oberfläche in der einen, hierauf nach jener in der zweiten der Röhren A, B, liest nachher die Größe ab, um welche das Fernrohr von der erster Visirung zur zweiten und zur dritten am Stabe höher gestellt werden mußte, und hat so die Längen der Flüssigkeitssäulen, die in A und B einander das Gleichgewicht halten; die Differenz dieser Längen gibt offenbar die Größe der Ausdehnung der Flüssigkeit ganz unabhängig von jener der Röhren.

noch einige andere Flüssigkeiten) sich bei den vom Siedpunkte aus abnehmenden Temperaturen nicht fortwährend zusammenzuziehen, sondern bevor es noch den Gefrierpunkt erreicht, sich wieder auszudehnen, so daß es bei einer bestimmten Temperatur über 0° seine größte Dichte hat. Nach Stampfer's Bestimmung, welche ein besonderes Vertrauen verdient, ist diese Temperatur für destillirtes Wasser + 3° R.; nach späteren [1839 bekannt gewordenen] Versuchen von Despretz ist sie 4°·007 C., nach Versuchen von Joule und Playfair 3°·943 C. und nach den neuesten Untersuchungen [1852] von Plücker und Geißler sehr nahe 3°·8 C.; von hier auf- und abwärts (und man kann das Wasser, wenn jede Erschütterung desselben sorgfältig vermieden wird, leicht bis — 10° oder — 12° R. erkalten, ohne daß es erstarrt,) fährt es immer fort, an Dichte abzunehmen, also sich auszudehnen*), obgleich diese Ausdehnung für die Temperaturen von + 3° R. bis 0° nur sehr wenig, nämlich ungefähr $^1/_{10000}$ des ursprünglichen Volums beträgt. (Am Ende des Buches findet man Tabellen **XVII a. XVII b.**, welche das Volum und die Dichte des Wassers bei den verschiedenen Temperaturen von 0° — 100° C. angeben. Eine kleinere Tabelle der Dichten wurde schon auf S. 197 mitgetheilt.)

In der besprochenen Eigenthümlichkeit des Wassers liegt eine große Wohlthat der Vorsehung. Beim Beginne der kalten Jahreszeit kühlt sich nämlich die Oberfläche der Flüsse, Seen und Meere durch die Berührung mit der kälteren Luft und durch andere Ursachen ab; das erkaltete Wasser der Oberfläche sinkt, als dichter und schwerer, zu Boden, das untere, wärmere Wasser steigt an dessen Stelle, wird da ebenfalls abgekühlt, sinkt aus gleichem Grunde wie vorhin zu Boden, und dieser Kreislauf, der eine sehr rasche Abkühlung der ganzen Wassermasse zur Folge hat, geht so lange fort, bis die Temperatur dieser Masse auf + 3° R. herabgekommen ist. Denn bei weiterer Abkühlung des Wassers an der Oberfläche dehnt sich dieses daselbst wieder aus, bleibt, weil es dadurch leichter geworden ist, an der Oberfläche und schützt das darunter befindliche, wärmere Wasser vor fernerer Abkühlung. Endlich gefriert die Oberfläche und das Eis kann von hier nach unten allmälig immer dicker werden; aber dies geht selbst in dem anhaltendsten, strengsten Winter nicht weit hinab und schon in einer Tiefe von wenigen Fußen hat das Wasser, eben durch die Eisdecke gegen weitere Erkaltung geschützt, beständig die Temperatur + 3° R., welche für alle im Wasser lebenden Geschöpfe hinreichend ist. Nähme das Wasser bis zu seinem Gefrierpunkte fortwährend an Dichte zu, so müßte die ganze Wassermasse erst bis zu diesem Punkt sich abkühlen, bevor Eis entstehen könnte, und die Eisbildung würde dann vom Boden aufwärts sehr rasch vor sich gehen, so daß selbst eine nicht große und nicht lange andauernde Winterkälte hinreichend wäre, die ganze Wassermasse der Flüsse, Seen u. s. w. von unten herauf in Eis zu verwandeln, was nothwendig die Vernichtung aller darin lebenden Wesen zur Folge hätte. Der heißeste Sommer wäre dann nicht im Stande, solche Massen von Eis wieder zu schmelzen und unser Klima wäre in jenes der äußersten Polargegenden umgewandelt.

Sehr wichtig ist auch die genauere Kenntniß der Ausdehnung des Weingeistes, theils der Alkoholometrie wegen (S. 215), theils weil er bis jetzt fast ausschließlich zu Thermometern für die Beobachtung sehr niedriger Temperaturen verwendet wird, (der zu demselben Zwecke vorgeschlagene Schwefelkohlenstoff, — und hievon wird an einem andern Orte die Rede sein, — hat den Weingeist bei weitem noch nicht verdrängt). Nach sehr sorgfältigen Versuchen von Tralles ist die Ausdehnung des absoluten Alkohols von — 26°·11 bis 37°·22 C. ganz gleichförmig und beträgt für 1° C. 0·000846 seines Volums; für die ungleiche Ausdehnung von wasserhältigem Alkohol kann kein Gesetz aufgefunden werden. Absoluter Alkohol, — und nur dieser eignet sich zu Thermometern für die tiefsten

*) Man kann sich hievon leicht mittelst eines Glasballons überzeugen, der etwa 1 Maß Wasser faßt und an seinem Halse eine enge, mit einer Scale versehene Röhre wasserdicht aufgeschraubt hat. Wird nämlich der Ballon und ein Theil der Röhre mit Wasser gefüllt und die ganze Vorrichtung zuerst auf die Temperatur 3° R., hernach allmälig auf höhere und niedrigere Temperaturen gebracht, so sieht man den Gipfel der Wassersäule in der Röhre sich immer über den im ersten Falle markirten Standpunkt erheben.

Kältegrade, — hat seine größte Dichte bei — 89°·5 C. und dehnt sich bei noch niedrigeren Temperaturen wieder aus. Bei absolutem Alkohol ist die Ausdehnung am größten und wird um so geringer, als er mit mehr Wasser vermischt wird. Aus den dem Buche angehängten Tabellen **XVIII a.** und **XVIII b.** der Volume des Alkohols bei den Temperaturen von — 100° bis + 66° C. erhält man durch Division dieser Volume in die Einheit leicht die diesen Temperaturen entsprechenden Dichten.

368. Ausdehnung gasförmiger Flüssigkeiten. Die Wärme wirkt bei der Ausdehnung der Körper (der Auseinanderrückung ihrer kleinsten Theilchen) offenbar der zwischen diesen Theilchen herrschenden Anziehung (Cohäsion) entgegen und erfährt von derselben einen nach Maßgabe ihrer, (vorzüglich mit der materiellen Beschaffenheit varirenden) Stärke geringeren oder größeren Widerstand. Da nun die Cohäsion bei festen (starren) Körpern weit stärker als bei tropfbaren Flüssigkeiten, ferner bei den verschiedenen Körpern beider Klassen ungleich groß und unter sonst gleichen Umständen desto kleiner ist, je weiter die Körpertheilchen bereits von einander entfernt worden sind, so folgt, daß die Wärme tropfbare Körper stärker ausdehnen müsse, als feste, daß die Ausdehnung materiell verschiedener Körper bei der nämlichen Temperaturveränderung ungleich viel betragen, und daß sie bei allen festen und tropfbaren Substanzen mit der Temperatur immer in einem größeren Verhältnisse wachsen müsse, als diese, wie es dem Vorhergehenden zu Folge auch wirklich der Fall ist. Da bei gasförmigen Körpern die Cohäsion gleich Null ist, sie daher der ausdehnenden Kraft der Wärme keinen Widerstand entgegen setzt; so ist die nothwendige Folge 1. daß gasförmige Körper durch die Wärme viel mehr ausgedehnt werden, als feste und tropfbare, 2. daß sie alle unabhängig von ihrer materiellen Beschaffenheit bei der nämlichen Temperaturerhöhung sich ganz gleich stark ausdehnen, also den nämlichen Ausdehnungscoefficienten haben, und 3. daß diese Ausdehnung immer in demselben Verhältnisse wachse, wie die Temperatur, d. i. der Temperatur genau proportional sei. In der That steht die Erfahrung mit diesen drei Schlüssen in vollkommener Uebereinstimmung.

Dem 2. dieser Schlüsse gemäß kennt man die Größe der Ausdehnung aller Gase in der Wärme, wenn solche für ein einziges z. B., den Repräsentanten aller Gase, die atmospärische Luft bekannt ist. (Ueber die Ausdehnung der atmosphärischen Luft sehe man die Tabelle **XIX** am Schlusse des Buches.) Alle früher vorgenommenen Bestimmungen dieser Ausdehnungsgröße zeigten sich in neuester Zeit als ungenau und zwar deswegen, weil man dabei die atmosphärische Luft oder das Gas, welches dem Versuche unterworfen wurde, von Wasserdünsten, (deren Gehalt auf die Ausdehnungsgröße einen wesentlichen Einfluß nimmt) nicht vollständig befreit hatte. Gay-Lussac fand durch übrigens äußerst sorgfältige Versuche den Ausdehnungscoefficienten der atmosphärischen Luft = 0·375, d. h. diese Luft dehnt sich nach seiner Bestimmung bei Erwärmung von 0° bis 100° C. um 0·375 oder $^3/_8$ ihres Volums bei 0° aus, oder 1000 Volumtheile Luft gehen bei der besagten Erwärmung in 1375 Volumtheile über (vorausgesetzt, daß der Druck, unter dem die Luft steht, sich nicht ändert). In neuerer Zeit fand Rudberg für diesen Coefficienten den Werth 0·365 (genauer 0·3646); und die neuesten Versuche, welche Magnus und Regnault mit aller denkbaren Genauigkeit, beide gleichzeitig und jeder von dem andern unabhängig, anstellten, ergaben ihn = 0·366 oder $\frac{11}{30}$, so daß die atmosphärische Luft sich für jeden Temperaturgrad nach Celsius um 0·00366 oder um $\frac{11}{30 \times 100} = \frac{1}{273}$ ihres Volums bei 0° ausdehnt, d. h. 273 Volume z. B. Kubikzolle Luft von 0° bei 1° zu 274, bei 2° zu 275, bei 3° zu 276 rc. oder bei — 1° zu 272, bei — 2° zu 271, bei — 3° zu 270 u. s. w. Kubikzollen werden. Für

einen Grad der Reaumur'schen Thermometerscale beträgt natürlich die in Rede stehende Ausdehnung $\frac{11}{30 \times 80} = \frac{1}{218}$ tel des Volums bei 0^{0}.

Beide letztgenannte Gelehrte fanden übrigens den oben unter 2. abgeleiteten Satz nicht genau bestätigt, indem sie für verschiedene Gase auch etwas verschiedene Ausdehnungscoefficienten erhielten, wie folgende Tabelle zeigt:

Name des Gases.	Magnus.	Regnault
Atmosphärische Luft	0·3665	0·3671
Kohlensäure	0·3691	0·3710
Wasserstoffgas	0·3656	0 3661
Schweflige Säure	0·3856	0·3903
Stickstoff	.....	0·3668
Stickstoffoxydul	.....	0·3719
Kohlenoxydgas	.....	0 3669
Cyangas	.....	0·3877
Chlorwasserstoff	.....	0·3681

Nach ihren Untersuchungen haben Gase, welche durch Compression tropfbar gemacht werden können, immer einen etwas größeren Ausdehnungscoefficienten als atmosphärische Luft, und zwar ist der Unterschied desto größer, bei je geringerem Druck sie tropfbar werden. Nach Regnault ändert sich der Ausdehnungscoefficient auch mit dem Drucke, unter dem das Gas steht.

Wir können uns hier nicht in eine Auseinandersetzung der von den genannten Physikern bei den betreffenden Untersuchungen eingeschlagenen Wege einlassen, sie würde uns zu weit führen. Im Allgemeinen mißt man die Ausdehnung der Gase in der Wärme (und so verfuhr der Hauptsache nach auch Gay-Lussac) mittelst einer engen Glasröhre (wie sie zu Thermometern dienen), welche eine Kugel angeblasen und eine Graduirung enthält, so daß das Verhältniß der Röhrenhöhlung zwischen je zwei Theilstrichen und des Rauminhaltes der Kugel bekannt ist. Das Gas, dessen Ausdehnung gemessen werden soll, wird im wohlgereinigten und getrockneten Zustande in die Kugel und einen Theil der Rohre eingefüllt und in dieser mit einer kleinen Quecksilbersäule abgesperrt, die zugleich als Inder dient. Man beobachtet den Theilstrich der Röhre, wo das der Kugel zugekehrte Ende des Inder steht, wenn der ganze Apparat in horizontaler Lage von gestoßenem, schmelzendem Eise umgeben ist, und erfährt so das Volum des eingefüllten Gases bei 0^{0}. Nun bringt man den Apparat, wieder in horizontaler Lage, in Wasser, erwärmt dieses zu jener Temperatur, für welche die Ausdehnung zu messen ist, bestimmt nach dem Stande des jetzt von der Kugel weiter weggetriebenen Inder und den bekannten Volumverhältnissen zwischen den Röhren-Abtheilungen und der Kugel das Volum des eingeschlossenen Gases und erhält so die Größe der erfolgten Ausdehnung.

Wie man mit Hilfe des eben angegebenen Ausdehnungscoefficienten ein bei einer bestimmten Temperatur stattfindendes Luft- oder Gas-Volum auf jenes Volum zurückführt, welches die dem Gewichte nach nämliche Luft- oder Gasquantität bei der Normaltemperatur (0^{0} nach Reaumur und Celsius oder 32^{0} nach Fahrenheit) einnehmen würde, ist schon auf S. 257 gezeigt worden.

Weil es sehr schwierig ist, Gase zu wägen, indem eine entsprechende Genauigkeit sich nur bei Anwendung sehr großer Volume, Beobachtung mancher Vorsichten und Vornahme mancher Correctionen erzielen läßt; so bestimmt man, wo es sich um das Gewicht eines Gases handelt, sein Volum in einem nach einer Maßeinheit, z. B. Kubikzollen, Kubikcentimeters u. s w. graduirten Gefäße, reducirt dies so gefundene Volum auf die Normaltemperatur und berechnet das Gewicht des ganzen Gasquantums, indem man die Anzahl der bei dieser Reduction erhaltenen Volumeinheiten mit dem bekannten specifischen Gewichte des Gases bei 0^{0}, d. i. mit dem einer Volumeinheit des Gases bei 0^{0} eigenen Gewichte multiplicirt. Die besagten specifischen Gewichte aller bekannten Gase findet man aber mittelst eigener zu diesem Zweck existirenden Tabellen. Eine solche ist die Tabelle VII C. am Ende des Buches, die unmittelbar die Dichten der Gase angibt, welche (Dichten) man aber offenbar nur mit dem specifischen Gewichte der atmosphärischen Luft (nach S. 275 wiegt bei 0^{0} und 28·851 Wienerzoll Barometerstand ein Kubikfuß atmosphärischer Luft 564, mithin ein Kubikzoll 0·326 Wiener Grane) zu multipliziren braucht, um die specifischen Gewichte der betreffenden Gase zu erhalten.

Die Ausdehnung der Luft durch die Wärme (die Expansivkraft der erhitzten Luft) wird seit neuester Zeit im großartigen Maßstabe als bewegende Kraft benützt

und zwar in Ericson's Luftexpansions- oder Warmluftmaschine (**caloric-engine**), welche, und wie es nach den bisher gemachten Erfahrungen scheint, mit Vortheil, anstatt der Dampfmaschinen zum Treiben der Schiffe angewendet wird. Wenn man nämlich die erwärmte Luft durch Einschließung an der Ausdehnung hindert, so äußert sie gegen die Wände des sie einschließenden Gefäßes einen Druck, welcher mit der Temperatur und zwar genau in dem nämlichen Verhältnisse zunimmt, in welchem sie bei freier Ausdehnung ihr Volum vermehren würde. Da Luft von **0° C.**, die einen Druck von **1** Atmosphäre übt, bei Erhitzung auf **272° C.** sich zum doppelten Volum auszudehnen sucht, so äußert sie bei dieser Temperatur auch einen Druck von **2** Atmosphären, bei **544° C.** von **3** Atmosphären, u. s. w. Ist die Luft in einem Cylinder unter einem sehr gewichtigen, beweglichen Kolben abgesperrt, so setzt ihr Ueberdruck von **1** oder **2** Atmosphären über die äußere Luft den Kolben nach aufwärts in Bewegung. Wird hierauf die erhitzte Luft aus dem Raume unter dem Kolben abfließen gelassen, so bewegt sich dieser durch sein eigenes Gewicht im Cylinder abwärts, wird nachher durch neuerliches Zuströmenlassen erhitzter Luft unter denselben abermals gehoben u. s. w. Die Maschine wirkt also wie eine einfach wirkende (Newcomen'sche) Dampfmaschine. Weiteres über die Wirkung, die Prinzipien und die sinnreiche Einrichtung der Warmluftmaschine muß man in andern Quellen suchen, und findet es unter andern vorzüglich in Dingler's polyt. Journale, 2. Märzheft 1853, S. 401.

369. Von dem Quecksilber- und von dem Weingeist-Thermometer. Auf den, im Vorhergehenden in Bezug auf Ausdehnung kennen gelernten Eigenschaften der eben genannten Flüssigkeiten beruht die Verwendung dieser letzteren zu den Thermometern (man sehe S. 23). Der Umstand, daß die Ausdehnung fester Körper zu gering ist, um nach derselben kleinere Temperaturveränderungen genau beobachten und messen zu können, daß andererseits die Gasarten selbst durch die geringste Wärmezunahme wieder zu stark ausgedehnt werden, um zu dem besagten Zweck bequem und leicht anwendbar zu sein, daß endlich die Ausdehnung des Quecksilbers und des Weingeistes eine rücksichtlich der vorigen zwei Fälle entsprechende Mittelstraße geht, überdies die erstere Flüssigkeit vom Gefrier- bis zum Siedpunkte des Wassers der Temperaturveränderung proportional sich ausdehnt und der Weingeist im wasserfreien Zustande bei keinem bis jetzt erreichbar gewesenen Kältegrad gefriert, ist Ursache, warum man sich gewöhnlich des Quecksilberthermometers und des Weingeistthermometers bedient.

370. Das Quecksilberthermometer. Zu dem über dasselbe schon in **12** Gesagten soll mit Beziehung darauf hier nun am passenderen Orte noch Folgendes nachgetragen werden.

Das Einbringen des Quecksilbersäulchens in die für das Thermometer bestimmte Glasröhre geschieht am leichtesten dadurch, daß man sie mit einem Ende in Quecksilber taucht und an dem zweiten Ende saugt, jedoch, um keine Feuchtigkeit in die Röhre zu bringen, nicht mit dem Munde, sondern mittelst einer kleinen Kautschuckblase, wie sie im Handel vorkommen, und nachdem dieselbe in warmen Wasser weich und leicht zusammendrückbar gemacht und hierauf wieder gut getrocknet worden*). Das Füllen der Kugel und des entsprechenden Theils der Röhre mit

*) Zu diesem Behufe bindet man das besagte zweite Ende der Röhre luftdicht in dem Halse der Kautschuckblase fest, drückt diese nur ganz wenig zusammen, so daß aus dem unter Quecksilber getauchten Röhrenende etwas Luft entweicht. Läßt man nachher mit dem Drucke nach, so dehnt sich die Blase wieder zu ihrem vorigen Volum aus und an die Stelle der entwichenen Luft tritt zu Folge Wirkung des äußeren Luftdruckes Quecksilber in die Röhre. Um überhaupt aus den zu Thermometern bestimmten Röhren vor ihrer Verwendung (während ihres Transportes, Aufbewahrens u. s. w.) alle Feuchtigkeit, Staub und andere Unreinigkeiten fern zu halten, sollen die Röhren schon gleich nach

Quecksilber geschieht durch Erwärmen der ersteren über einer Weingeistflamme und nachheriges Eintauchen ihres offenen Endes in reines Quecksilber. Das Nähere hierüber enthält die Anmerkung *). Nach vollbrachter, gehöriger Füllung wird dieses offene Ende, nach vollständiger Austreibung der Luft im Röhrenraume oberhalb des Quecksilbers, zugeschmolzen**). Dieses Austreiben der Luft ist aber

---

ihrer Erzeugung in der Glashütte an beiden Enden dicht verschlossen werden, was am besten durch Eintauchen dieser (äußersten) Ende in geschmolzenes Wachs geschieht. Das Wegschaffen des Schmutzes, (des Fettes, Staubes u. s. w.) aus der Höhlung einer unrein gewordenen Röhre geschieht am besten durch Hineinbringen von conc. Salpetersäure und nachheriges öfteres Ausspülen der Röhre mit destillirtem Wasser. Die erwähnte Kautschuckblase dient zugleich auch zum Anblasen der Kugel an die Röhre. Man schmilzt nämlich das eine Ende dieser letzteren (versteht sich, nachdem sie vorher calibrirt worden) vor der Glasblaserlampe zu, bindet nach erfolgter Erkaltung das offene Ende wieder in den Hals der Kautschuckblase luftdicht fest, erweicht dann in der Flamme der besagten Lampe das zugeschmolzene Röhrenende, indem es darin zum lebhaften Glühen erhitzt wird, zieht das glühende Ende dann aus der Flamme und drückt zugleich die während dieses Erhitzens in der hohlen Hand gehaltene Kautschuckblase gleichmäßig und allmälig immer mehr zusammen. Die hierdurch aus der Blase in die Röhre gepreßte Luft treibt das in der Lampenhitze erweichte Glasröhrenende nach allen Seiten hin gleich stark, also zu einer Kugel, auseinander.

*) Durch die besagte Erwärmung wird nämlich die in Kugel und Röhre enthaltene Luft ausgedehnt, entweicht zum Theil daraus und beim Erkalten und Zusammenziehen des Rückstandes nach der erfolgten Eintauchung in Quecksilber treibt der äußere Luftdruck etwas der letzteren Flüssigkeit an die Stelle der entwichenen Luft in die Röhre und gewöhnlich auch schon in einen Theil der Kugel hinauf. Man nimmt nun den Apparat aus dem Quecksilber, kehrt ihn um, so daß auch das in der Röhre enthaltene Quecksilber in die Kugel hinabfällt, vertreibt aus dieser durch neuerliches Erwärmen wieder einen Theil der rückständigen Luft, taucht dann das Röhrenende abermals rasch unter Quecksilber, worauf von diesem eine neue Quantität in die Kugel steigt, und wiederholt diese Operation so lange, bis Kugel und Röhre mit Quecksilber ganz angefüllt sind. Zeigt sich nach nun stattfindender Herausnahme des Apparates aus dem Quecksilber und nach seiner Abkühlung bis zur Lufttemperatur, (am besten nach beiläufiger Bestimmung des Aufthauungs- und Siedpunktes), daß zu viel oder zu wenig Quecksilber in der Röhre sei; so läßt sich leicht ein entsprechender Antheil entfernen oder nachfüllen. In beiden Fällen ist die Kugel über der Weingeistlampe so lange zu erwärmen, bis das Quecksilber aus dem offenen Röhrende hervortritt: im erstern Falle läßt man dann eine entsprechend erscheinende Menge abfließen, im letztern hingegen wird das Ende der Quecksilbersäule (des Quecksilberfadens) in der Röhre, sowie es aus dieser hervortritt, mit jener (etwa auf ganz reiner Hand) dargebotenen Quecksilbermenge, die nach beiläufiger Beurtheilung noch abzugehen scheint, in innige Berührung gebracht. Beim nun folgenden Abkühlenlassen des Apparates zieht sich dann der besagte Quecksilberfaden wieder in die Röhre hinein, und ihm folgt das durch Cohäsion damit zusammenhängende Quecksilber auf der Hand. Erhitzt man das Quecksilber in der Kugel, sobald diese schon zum größten Theil damit erfüllt ist, bis zum Sieden, so entweicht dabei nicht nur alle Luft aus dem Quecksilber, sondern die entstehenden Quecksilberdämpfe vertreiben auch alle noch in der Kugel und Röhre vorhandene Luft (reißen sie mechanisch mit sich fort), so daß dann beide sich vollkommen mit Quecksilber anfüllen, wenn die Röhre wieder möglichst schnell in dasselbe getaucht und die Verdichtung des Quecksilberdampfes zu tropfbarem Quecksilber bei Abkühlung des Apparates abgewartet wird. Wurde das Quecksilber, in welches diese letzte Eintauchung erfolgt, kurzvorher selbst durch Auskochen von Luft befreit und bei der ganzen Füllung nur auch sonst vollkommen gereinigtes Quecksilber verwendet (man sehe die Anmerkung *) auf S. 248); so ist auch zugleich der ersten jener Hauptbedingungen Genüge geleistet, unter welchen allein die erforderliche Uebereinstimmung aller Quecksilberthermometer in ihren bei derselben Temperatur sich ergebenden Anzeigen erzielt wird, und von welchen die andern oben gleichnachher zur Besprechung kommen werden.

**) Zu diesem Behufe wird das offene Ende vor der Glasblaserlampe erweicht und hierauf in ein ganz dünnes Röhrchen ausgezogen, dieses dann bis auf ein etwa 3''' langes

nothwendig, denn sonst würde die freie Ausdehnung des Quecksilbers durch die Expansivkraft der über demselben eingeschlossenen Luft und zwar desto mehr gehindert, je größer die Wärmezunahme ist; überdieß wäre das Thermometer beim Erwärmen der Gefahr des Zerspringens ausgesetzt *). Man läßt wohl auch manchmal die Luft über dem Quecksilber in der Röhre eingeschlossen; dann muß aber, um die oben unter *) bezeichneten Uebelstände zu beseitigen oder möglichst zu vermindern, am oberen Ende der Röhre, nachdem sie zugeschmolzen worden, eine Erweiterung (etwa von der Größe einer kleinen Erbse) angebracht werden, in welche die Luft jedes Mal zurückgedrängt wird, wenn das Quecksilber steigt **).

Nun folgt die Bestimmung des Aufthauungs- und des Siedpunktes ***). Die oben als nothwendig bezeichnete Uebereinstimmung der Thermometer in

---

Stück abgebrochen, nun durch Erwärmen der Kugel mittelst der Weingeistlampe das Quecksilber in der Thermometerröhre bis an die feine Oeffnung am Ende des gebliebenen Röhrchenstückes emporgetrieben, so daß aus der Thermometerröhre alle Luft entfernt wird, und hierauf nach Beseitigung der Weingeistlampe mit dem zuletzt erwähnten Ende rasch in die Flamme der Glasblaserlampe hineingefahren, wo dann dieses dünne Ende in einigen Augenblicken zugeschmolzen ist.

*) Ist die Thermometerröhre auf diese Art luftleer gemacht, so fällt bei Umkehrung des Apparates (so daß die Kugel nach oben gekehrt ist) das Quecksilber mit einem Schalle bis in die Spitze der Röhre, und in der Kugel entsteht ein leerer Raum in Gestalt einer großen Luftblase, der bei abermaliger Umkehrung des Thermometers in seine eigentliche Stellung (mit der Kugel nach unten), während das Quecksilber in der Röhre von ihrer Spitze wieder zurücktritt, vollkommen verschwindet. Findet kein vollkommenes Verschwinden, sondern nur eine Verkleinerung der erschienenen großen Blase zu einem, wenn auch noch so kleinen, ja blos punktähnlichen Luftbläschen statt, so ist dies ein Beweis, daß das Quecksilber selbst noch Luft enthält, also nicht gehörig ausgekocht worden. Denselben Schluß muß man auch ziehen, wenn bei dem besagten Aufwärtskehren der Kugel die Quecksilbersäule in der Röhre an der Kugel blos abreißt und an die Röhrenspitze hinfällt, die Kugel aber voll Quecksilber bleibt, ferner, bei dem nachherigen Wiederabwärtskehren der Kugel die abgerissene Säule mit dem übrigen Quecksilber an der Stelle, wo sie früher abriß, sich auch dann nicht wieder zu ununterbrochener Masse vereinigt, wenn man, das Thermometer mit der Kugel nach unten in der Hand haltend, durch mäßiges Stoßen der abwärts bewegten Hand gegen ein Hinderniß zu wiederholten Malen den ganzen Apparat erschüttert hat. Die Ursache der Nichtwiedervereinigung ist ein an der Losreißungsstelle ausgeschiedenes Luftbläschen, das dann gewöhnlich nicht anders mehr aus der Quecksilbersäule entfernt werden kann, als dadurch, daß man am von der Kugel abgewendeten Ende der Thermometerröhre einen Bindfaden befestigt und es an diesem im Kreise herum schwingt, wo dann die losgerissene Quecksilbersäule durch Wirkung der Centrifugalkraft das Luftbläschen durchbringen und zu inniger Vereinigung mit dem übrigen Quecksilber gelangen kann

**) Das Zustandebringen dieser Erweiterung geschieht dadurch, daß man die zugeschmolzene Spitze der Röhre in der Glasblaserlampe nahe bis zum Schmelzen des Glases erhitzt und, wenn dieser Moment erreicht ist, die Kugel rasch erwärmt. Es wird da das Quecksilber in der Röhre steigen, die Luft über demselben gegen die Röhrenspitze drängen und diese zu der besagten Erweiterung auftreiben.

***) Es ist aber rathsam und, wenn die Thermometerkugel dünn im Glase ist, sogar nöthig, daß man nach erfolgtem Zuschmelzen der Röhre das Instrument noch vor dieser Bestimmung der Fundamentalpunkte wenigstens 3 bis 4 Monate lang ruhig liegen lasse. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß diese Punkte bei Thermometern, an welchen sie gleich nach dem Zuschmelzen ganz genau bestimmt wurden, nach einiger Zeit merklich verrückt erscheinen, indem die Quecksilberoberfläche in der Röhre dann z. B. im aufthauenden Eise mit dem markirten Aufthauungspunkt nicht mehr zusammenfällt, sondern meistens und zwar oft 1—2 Thermometergrade über demselben steht. Die Ursache hiervon liegt im Folgenden. Beim Füllen des Thermometers wird die Kugel sehr stark erhitzt, dadurch bedeutend erweitert, und kehrt bei der Erkaltung nicht gleich wieder zu ihrer ursprünglichen Größe zurück, sondern es bedarf hierzu einer längeren Zeit. Wurden daher der Aufthauungs- und der Siedpunkt bald nach dem Füllen und Zuschmelzen des Thermometers bestimmt, so fallen sie offenbar tiefer (näher an die Kugel), als nach besagter längerer Zeit. Zwar wird die

ihren Anzeigen erfordert, daß die erwähnte Bestimmung des Aufthauungs- und Siedpunktes immer in ganz gleicher Weise und genau unter den nämlichen Umständen geschehe*). Zu diesem Ende muß, was den Aufthauungspunkt anbelangt, immer nur ganz reiner Schnee genommen und, wenn Eis angewendet wird, dieses vorher sorgfältig abgewaschen werden, um allen Schmutz und vorzüglich um das Salz davon zu entfernen, welches sich nicht selten an dem aus Eiskellern bezogenen Eise findet, indem dieses darin häufig mit Salz bestreut wird, damit es im Sommer sich länger halte, der Schmutz aber und vorzüglich das Salz macht, daß der Schnee und das Eis bei einer andern Temperatur schmelzen, als wenn sie rein sind, in welchem Falle ihr Schmelzpunkt (ihre Schmelztemperatur) stets ganz der nämliche bleibt. Die Bestimmung des Siedpunktes betreffend, so muß dazu nicht nur gut destillirtes Wasser angewendet werden**), sondern bei allen Siedpunktbestimmungen muß die Thermometerkugel immer gleich tief in das siedende Wasser eintauchen, und auch das Quecksilber in der Röhre stets wie jenes in der Kugel einer gleichen Temperatur ausgesetzt werden. Diesen Bedingungen wird vollkommen und am leichtesten dadurch entsprochen, daß man in allen Fällen die Thermometerkugel nur mit der untern Hälfte ins siedende Wasser taucht und die andere Hälfte sammt der Röhre, soweit darin das Quecksilber geht, rings-

---

Kugel des luftleer gemachten Thermometers durch den auf sie wirkenden Druck der Atmosphäre, dem von innen heraus kein äquivalenter Druck entgegenwirkt, etwas zusammengedrückt und dadurch wieder verkleinert, und meistens compensirt diese Verkleinerung anfangs die oben erwähnte Erweiterung der Kugel, überwiegt aber diese Erweiterung allmälig immer mehr und mehr, bis sie endlich nach 3—4 Monaten ihre Grenze erreicht. Bestimmt man daher erst nach dieser Zeit (vom Füllen und Zuschmelzen des Thermometers an gerechnet) die Fundamentalpunkte, so bleiben sie nachher für immer unverändert, wenn das Thermometer, falls es für hohe Temperaturgrade (bis 300° C.) eingerichtet ist, nicht wieder einer starken Erhitzung ausgesetzt wird, welche natürlich eine ähnliche, erst nach Monaten wieder verschwindende Erweiterung der Kugel und Veränderung der Fundamentalpunkte, welche das Thermometer, ohne neuerlicher Bestimmung dieser Punkte zu genaueren Messungen unbrauchbar macht, zur nothwendigen Folge hat. An Thermometern aus Krystallglas betragen wegen der regelmäßigeren Ausdehnung dieses letzteren die Veränderungen in der Lage des Nullpunktes weit weniger, nämlich selten mehr als 0·05 Grad, während sie bei aus gewöhnlichem Glase construirten Thermometern auf 0·5 Grad sich belaufen. Immer soll der Nullpunkt nach dem Siedpunkt bestimmt werden, weil sich dann (nach Pierre) im Werthe des Intervalls zwischen 0° und 100° weniger Schwankungen zeigen. Die Uebereinstimmung der Thermometer hängt unter sonst gleichen Umständen auch von der Beschaffenheit des Glases ab und es haben, da die Ausdehnung des Quecksilbers nur ungefähr die 7fache von jener des Glases ist, die Verschiedenheiten, die von der ungleichen Beschaffenheit des Glases veranlaßt werden, auf die Angaben eines Quecksilberthermometers einen wesentlichen Einfluß. Nicht so ist es bei Luftthermometern (von welchen später geredet werden wird), weil die Luft sich 160 Mal mehr ausdehnt als das Glas, mithin die Verschiedenheiten des Glases verschwindend klein sind.

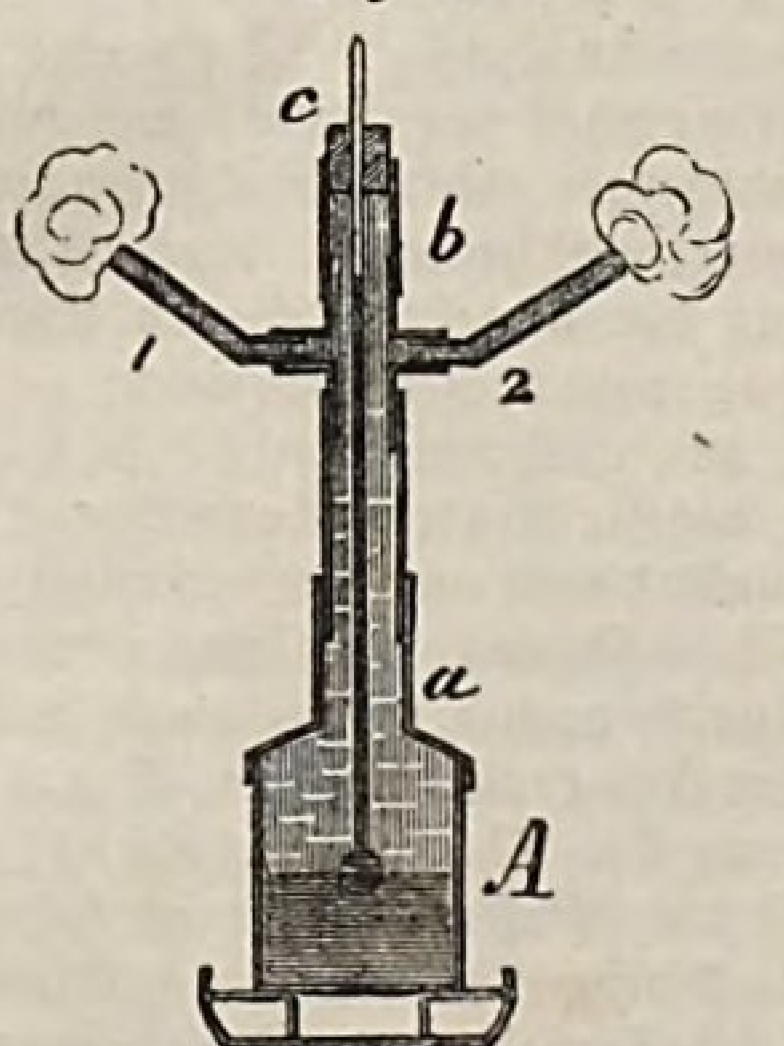
*) Im Allgemeinen geschieht sie, wie wir von S. 24 her wissen, dadurch, daß man die Kugel und Röhre immer senkrecht und fast so weit als in letzterer die Quecksilberoberfläche reicht, in schmelzendes Eis oder aufthauenden Schnee und nachher in siedendes Wasser stellt, so lange wartet, bis die Oberfläche einen unveränderlichen Stand angenommen hat und diesen (mit einer Auflösung von Siegellack in Weingeist oder durch einen an der Röhre mittelst einer Diamantfeder, d. i. eines blos ritzenden und nicht schneidenden, gefaßten Diamantsplitters gemachten Strich) markirt. Nach Walferdin und Regnault soll das Gefäß, worin sich der Schnee oder das Eis befindet, im Boden Löcher haben, damit das entstandene Wasser immer gleich abfließen kann.

**) Dieses allein siedet unter sonst gleichen Umständen immer bei der nämlichen Temperatur, da die im gewöhnlichen Wasser enthaltenen, die Siedtemperatur desselben modificirenden Salze durch den Destillationsprozeß daraus abgeschieden wurden.

herum den aus dem siedenden Wasser aufsteigenden und frei entweichenden (nicht gespannten) Dämpfen aussetzt *). Da endlich die Temperatur, bei welcher eine Flüssigkeit, also auch das Wasser, an freier Luft siedet, ebenfalls von dem Luftdrucke abhängt und mit diesem wächst, (die Ursache hiervon, sowie vom vorigen Punkte, die höhere Temperatur des siedenden Wassers in größeren Tiefen betreffend, werden wir aus dem Folgenden einsehen lernen), so muß bei der Bestimmung des Siedpunktes der Thermometer auch auf den eben herrschenden Luftdruck, also auf den Barometerstand Rücksicht genommen werden. Man sollte daher die Siedpunktsbestimmung in allen Fällen stets bei einem und demselben bestimmten (natürlich auf die Temperatur 0° reducirten) Barometerstande, einem Normalbarometerstande, vornehmen. Da dies aber nicht immer möglich ist, weil man sehr häufig mit dieser Bestimmung nicht so lange warten kann, bis gerade dieser Barometerstand wieder stattfindet, so muß man alle bei andern Barometerständen bestimmte Siedpunkte auf einen Normalbarometerstand reduciren. Als solcher wird allgemein jener von 28 Pariser Zoll angenommen, und die Reduction aller Barometerstände unter oder über 28 Par. Zoll auf den besagten Normalbarometerstand geschieht einfach dadurch, daß man den (bei einem andern Barometerstande) gefundenen Fundamentalabstand (S. 24) d. i. den Abstand des Aufthauungs- und Siedpunktes von einander so oft Mal um 794 Milliontel oder nahe 8 Zehntausendtel seiner Länge verkleinert oder vergrößert, um so viele Pariser Linien der beim Versuch gefundene und auf die

*) Der Erfahrung gemäß hat nämlich das siedende Wasser in verschiedenen Tiefen unter der Oberfläche eine ungleiche und zwar in größerer Tiefe immer eine höhere Temperatur, und die aus demselben aufsteigenden Dämpfe haben, wenn sie sich ungehindert entfernen können, ganz den gleichen Hitzgrad, wie das siedende Wasser an der Oberfläche. (Diese Gleichheit stellt Marcet in Abrede und behauptet, die Temperatur des Dampfes sei immer niedriger, als jene des siedenden Wassers. Derselbe fand beim Sieden in einem Glasgefäße die Temperatur der entweichenden Dämpfe im Durchschnitte um 1°·06 niedriger, als die des Wassers; bei Metallgefäßen schwankt der Unterschied zwischen 0° 15 und 0°·20.) Man bedient sich zur Siedpunktbestimmung am besten eines cylindrischen Gefäßes A (Fig. 722) aus Weißblech, in dessen Deckel eine aus in einander verschiebbaren Stücken bestehende Röhre ab (nach Art der Auszugröhren bei den Perspectiven) angebracht ist. Im obern Ende b derselben ist ein der Länge nach durchbohrter Korkstöpsel c und gleich unter demselben sind Seitenröhren 1, 2 vorhanden. Füllt man nun das Gefäß A so weit mit destillirtem Wasser, daß die Kugel des mit der Röhre durch die Bohrung des Korkes c geschobenen und darin durch Reibung festgehaltenen Thermometers etwa zur Hälfte in das Wasser taucht, bringt nachher dieses zum Sieden und sorgt durch entsprechendes Auseinanderziehen der Stücke des Rohres ab dafür, daß bei unverändert bleibender Stellung der Kugel die Oberfläche der Quecksilbersäule in der Röhre des Thermometers immer gerade ober dem Korkpfropf sichtbar bleibt und im gehörigen Momente sich an der Röhre markiren läßt; so sind die obigen Bedingungen, (daß die zweite Hälfte der Kugel und der Röhre, soweit darin das Quecksilber geht, von (aus den Röhrchen 1, 2) frei entweichenden Dämpfen umgeben seien,) erfüllt. Gut ist es, die Röhre ab noch mit einer Hülle zu umgeben, und den Dampf am untern Ende des ringförmigen Raumes zwischen dieser Hülle und ab durch ein Seitenrohr entweichen zu lassen, um die Abkühlung des Dampfes in ab durch die äußere Luft zu verhüten. Ferner ist zu beachten, daß auch die Temperatur des siedenden Wassers mit der Natur des Gefäßes, worin das Sieden stattfindet, varirt. In einem Metallgefäße ist der Siedpunkt bei gegebenem Luftdrucke der möglichst niedrige, d. i. 100° C. In Glasgefäßen varirt (nach Marcet) der Siedpunkt von 100°·3 bis 102° C.

Fig. 722.



Temperatur 0° reducirte Barometerstand respective größer oder kleiner als 28 Pariser Zoll ist. Demnach findet man leicht die auf 28 Pariser Zoll = 336 Linien Barometerstand reducirte Länge l_1 des Fundamentalabstandes nach der Formel $l_1 = l\,(1 - d\,.\,0{\cdot}000794)$, wenn l die bei einem andern Barometerstande b gefundene Länge dieses Abstandes und $d = b - 336'''$, d. i. den in Pariser Linien ausgedrückten Unterschied zwischen den bei vorgenommener Bestimmung des Siedpunktes beobachteten und den Normalbarometerstande bedeutet, also je nachdem ersterer größer oder kleiner ist als letzterer, das Zeichen + oder — führt *).

Die Eintheilung des so corrigirten und überhaupt als genau bestimmt vorausgesetzten Fundamentalabstandes geschieht (am besten wieder mittelst der in der Anmerkung *) in Erinnerung gebrachten oder einer ähnlichen Theilmaschine entweder auf der Thermometerröhre selbst (mit Hilfe einer Diamantfeder), oder dieser Röhre zur Seite auf einer Schiene von Metall, Bein oder Holz, auf welcher die Röhre (während die Kugel über das Ende der Schiene hervorsteht, oder in eine Vertiefung derselben eingesenkt ist), ihrer ganzen Länge nach aufliegend, mit darüber hingezogenem Drahte oder übergeschraubten kleinen Metallbügeln befestigt wird. Eine Correction der beobachteten Thermometerstände wegen der Ausdehnung des Materials, worauf die Eintheilung (die Scale) verzeichnet sich befindet, ist nicht erforderlich, weil der Fehler, der durch Vernachlässigung dieser Correction begangen wird, in allen Fällen wegen seiner Kleinheit außer dem Bereiche der Messung liegt. Die Eintheilung des Fundamentalabstandes wird zwar gewöhnlich nur unter den Aufthauungspunkt hin, bis nahe an den Gefrierpunkt des Quecksilbers (— 31°·2 R.) fortgesetzt, oft aber auch weit über den Siedpunkt hinaus (natürlich, wenn die Röhre die dazu erforderliche Länge erhalten hat) aufgetragen, so daß man mit einem solchen Quecksilberthermometer alle Temperaturen nahe vom Gefrierpunkte des Quecksilbers bis in die Nähe seines Siedpunktes, natürlich weit über 80° R. und unter 0° hinabfallende Temperaturen wegen der für diese nicht gleichförmigen Ausdehnung und Zusammenziehung des Quecksilbers unmittelbar nur mit annähernder Genauigkeit) messen kann. Die Tabelle **XX a.** am Ende des Buches gibt die den beobachteten hohen Graden des Quecksilberthermometers entsprechenden wahren Wärmegrade. Diese von Dulong und Petit gegebene Tafel muß, weil ihr ein unrichtiger Ausdehnungscoefficient der Luft zu Grunde liegt, nach der Tabelle **XX b.** am Ende des Buches, welche nach dem Regnault'schen Ausdehnungscoefficienten berechnet ist, rektifizirt werden.

371. Das Weingeistthermometer. Es dient bekanntlich vorzüglich für niedrigere Temperaturen, als sich mit dem Quecksilberthermometer messen lassen, und ist wegen der sehr starken Ausdehnung des Weingeistes in der Wärme ein sehr empfindliches Instrument. Zu dem schon auf S. 26 über dasselbe Gesagten ist nur noch Folgendes zuzusetzen. Das Färben des Weingeistes, welches bloß den Zweck hat, ihn im Glase leichter sichtbar zu machen, muß mit einem Färbestoff geschehen, der sich auch mit der Zeit aus dem Weingeiste nicht abscheidet, weil sonst die Röhre undurchsichtig wird und ihr überall gleiches Kaliber verliert. Unter die bessern derartiger Färbestoffe gehört jener aus **Anchusa tinctoria**. Da der Alkohol an freier Luft schon bei einer weit niedrigeren Temperatur (bei 63°·76 R.) als

*) Die praktische Ausführung der besprochenen Correction oder Reducirung eines beobachteten Fundamentalabstandes läßt sich aber sehr leicht mittelst der auf S. 137 und 138 beschriebenen Theilmaschine ausführen, indem man nämlich an ihr die Länge dieses beobachteten und markirten Fundamentalabstandes genau mißt, dann berechnet, wie viel Umdrehungen der Schraube (S s) oder aliquote Theile einer Umdrehung auf 0·0008tel der gemessenen Länge gehen und dann diese Größe (8 Zehntausendtel) von dem ganzen gemessenen Fundamentalabstande entsprechend oftmals wegnimmt oder zu demselben hinzufügt.

das Wasser siedet, so wird bei Bestimmung des Siedpunktes eines Weingeistthermometers die freie Ausdehnung des Alkohols dadurch gehindert, daß die bei $63^{0}\cdot 76$ R. aus dem siedenden Alkohole sich entwickelnden und in der zugeschmolzenen Röhre zurückgehaltenen Dämpfe auf die Oberfläche des Alkohols drücken, und dieses Hinderniß ist nebst der dem Weingeiste an und für sich eigenen Ungleichförmigkeit der Ausdehnung in höheren Temperaturen der Grund, warum der Gang eines Weingeistthermometers zwischen dem Aufthauungs- und Siedpunkte weniger regelmäßig ist, als jener eines Quecksilberthermometers und beide Instrumente innerhalb der besagten Grenzen in ihren Anzeigen nie übereinstimmen. Unterhalb des Aufthauungspunktes, wo die besagte Unregelmäßigkeit der Ausdehnung wegfällt, ist der Gang des Weingeistthermometers eben so richtig, ja in der Nähe des Gefrierpunktes des Quecksilbers sogar richtiger, als jener des Quecksilberthermometers. Für sehr niedrige Temperaturen, wie sie z. B. durch Kohlensäure und Stickstoffoxydul, im starren Zustande als Kälte erregende Mittel angewendet, erzeugt werden und für welche Weingeistthermometer nicht mehr brauchbar sind, da bei solchen Kältegraden der Weingeist ganz zähe wird, dienen sehr gut Thermometer, welche als thermometrische Substanz, anstatt Weingeist, mit etwas Jod violet gefärbten Schwefelkohlenstoff enthalten, von Pleischl angegeben und Kryometer (von κρυος Kälte) genannt und in ihrem Gange ganz übereinstimmend mit dem Quecksilberthermometer (natürlich innerhalb der mit diesem letzteren meßbaren Temperaturen) gefunden wurde.

Durch die Vereinigung eines Weingeist- und eines Quecksilber-Thermometers, deren Einrichtung von der gewöhnlichen nur in etwas verschieden ist, wird das von Rutherford angegebene sogenannte Maximum- und Minimum-Thermometer erhalten, mittelst dessen man die höchste und die niedrigste Temperatur erfährt, welche an einem Orte innerhalb einer bestimmten Zeit stattfindet, ohne daß man während dieser Zeit Thermometerbeobachtungen anzustellen braucht. Die Fig. 723 stellt ein solches Instrument vor. Das Quecksilberthermometer a b und das Weingeistthermometer c d sind auf einer Platte M N in horizontaler Lage festgemacht, so daß die in der Platte versenkten Kugeln a, c nach entgegengesetzten Seiten gekehrt sind. Im leeren Theile der Röhre des Quecksilberthermometers befindet sich ein darin leicht hin und her gleitender Stift o aus Stahl- oder Eisendraht, und in der Flüssigkeitssäule des Weingeistthermometers schwimmt ein ebenfalls leicht hin und her beweglicher Glasstift r, von einer Farbe, die ihn vom Weingeiste auffallend unterscheidet. Hat man durch entsprechendes Neigen der Platte MN mit den darauf befestigten Thermometern (indem das Ende M gesenkt und das Ende N gehoben wird) die beiden Stiften o und r bis an die Oberflächen der Flüssigkeitssäulen in den Thermometern gleiten gemacht und

Fig. 723.

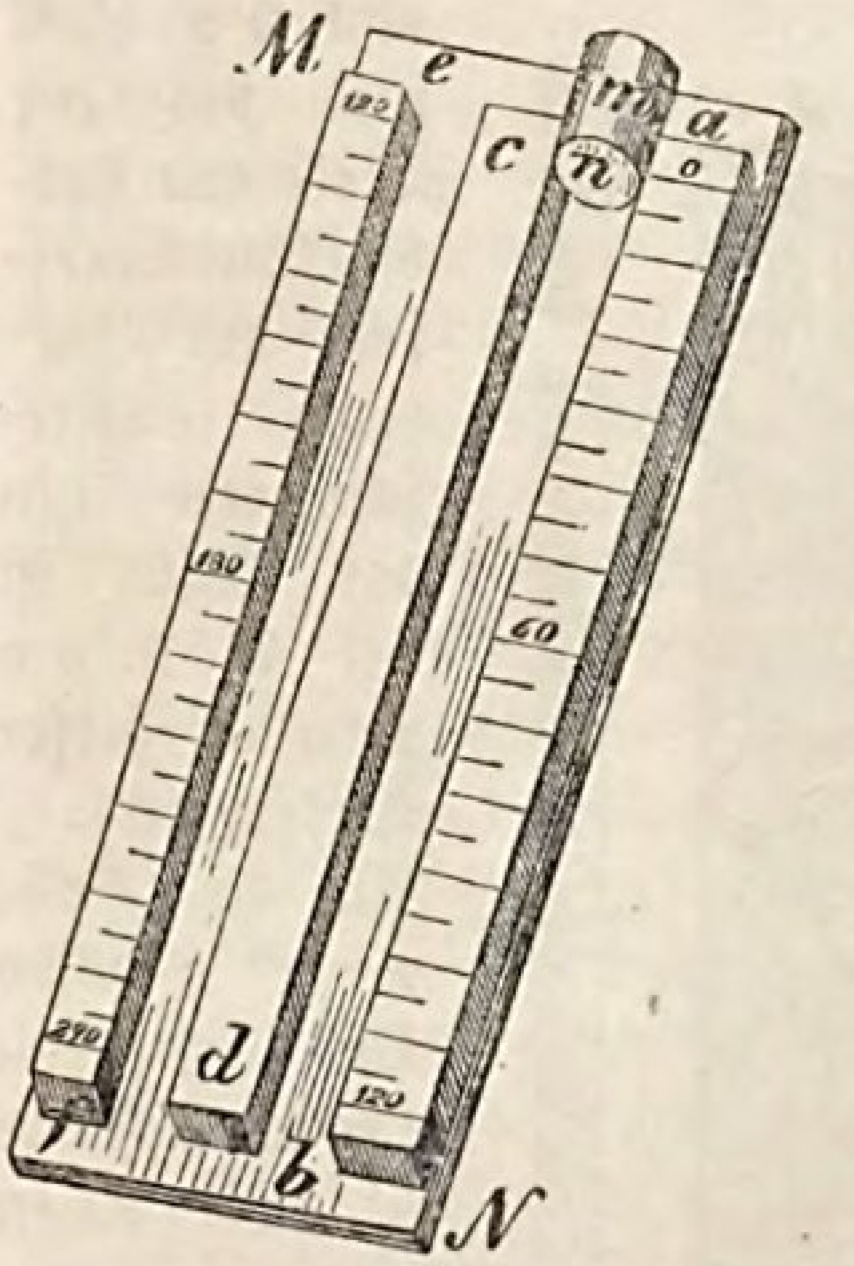


bringt diese hierauf in die horizontale Lage, so nimmt bei wachsender Temperatur die Oberfläche der sich verlängernden Quecksilbersäule und bei Abnahme der Temperatur die Oberfläche der kürzer werdenden Weingeistsäule den betreffenden Stift (erstere den Stift o und letztere den Stift r) so lange mit sich fort, als die Zu- oder Abnahme der Temperatur dauert. Tritt dann bei (nach vorhergegangener Temperaturzunahme) wieder abnehmender Temperatur eine Verkürzung der Quecksilbersäule oder bei (nach vorhergegangener Temperaturabnahme) wieder wachsender Wärme eine Verlängerung der Weingeistsäule ein, so bleibt im ersteren Falle der Stahlstift (o) im letzteren der Glasstift (r) dort liegen, wo ihn vorher die betreffende Flüssigkeitsoberfläche hingeschoben hatte. Die diesen Flüssigkeitsoberflächen zugekehrten Enden der (liegengebliebenen) Stifte zeigen mithin dann und zwar das Stahlstiftende die höchste und das Glasstiftende die niedrigste Temperatur während des verflossenen Zeitraumes an. Die Scalen der Thermometer werden am besten auf matt geschliffenem Glase verzeichnet (es kann

entweder, wie bei dem in der Figur abgebildeten Instrumente, ein Streifen mn solchen Glases in die Platte MN eingesetzt sein, oder die ganze Platte aus matt geschliffenem Glase bestehen), weil sich da der Thermometerstand und die Stellung der besagten Stifte gut wahrnehmen läßt. Die Krümmung der Röhre des Weingeistthermometers zunächst an der Kugel ist erforderlich, damit bei etwaiger Hebung des Endes M der Stift r nicht in die Kugel c hineingleiten kann.

372. Das Pyrometer. Wie wir von Seite 841 her wissen, können alle Temperaturen, welche zwar höher als jene des siedenden Wassers, aber niedriger als die des siedenden Quecksilbers (280° R.) sind, mit dem Quecksilberthermometer gemessen werden, wenn die Röhre lang genug und die Scale (die Fundamentalabstands-Eintheilung) auch über den Siedpunkt des Wassers hinauf fortgesetzt ist. Jedoch zum Messen höherer Wärmegrade und der Hitzgrade, z. B. eines Porzellan- oder eines Schmelzofens u.s.w., ist es natürlich unbrauchbar, und man bedient sich hierzu anderer Mittel. Die Hitzgrade werden mittelst der sogenannten Pyrometer gemessen, unter denen das Wedgwood'sche (nach dem Erfinder Wedgwood so benannt) das gebräuchlichste ist, oder wenigstens vor Kurzem noch war. Dasselbe beruht auf der Eigenschaft des Thones, in der Hitze sich zusammenziehen

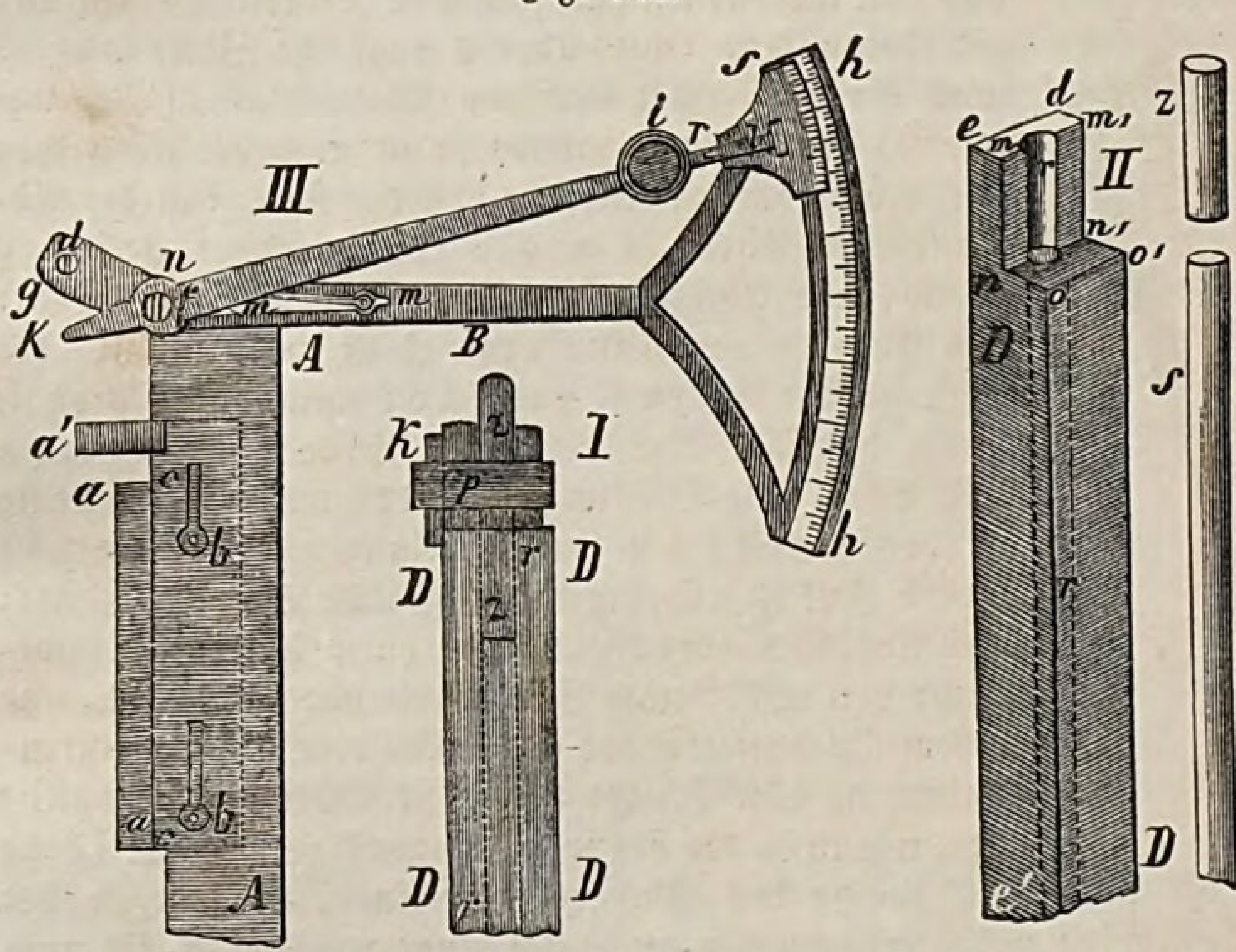
Fig. 724.



und besteht (wie Fig. 724 zeigt) in bequemster Form aus drei metallenen (messingenen) Leisten ab, cd und ef, deren jede etwas über 6 englische Zolle lang ist und die auf einer massiven Metallplatte (Messingplatte) MN nebeneinander, und nach der nämlichen Seite hin convergirend, so befestigt sind, daß der Abstand der Enden a und c von einander 0·5 engl. Zolle, der Abstand des Endes b von d und ebenso des Endes c von e 0·4 engl. Zolle und endlich der Abstand der Enden d und f von einander 0·3 engl. Zolle beträgt. Auf der einen Leiste ab geht von a nach b hin eine Theilung 0 bis 120 und auf der Leiste ef von e nach f hin eine Theilung von 120 bis 240 (jeder Zoll ist nämlich in 20 gleiche Theile getheilt); dem Anfangs- oder Nullpunkte entspricht eine Temperatur von 1077° nach Fahrenheit oder 464·4 R., und einem Pyrometergrade entspricht eine Temperaturzunahme um 132° F. oder 44·44° R. Gleich große Cylinder, wie m in der Figur, aus eigens gemischtem Thone von Cornwallis, die bei der Siedhitze des Wassers getrocknet, nachher in der anfangenden Rothglühhitze gebrannt wurden und sich nun gewöhnlich bis zum 5ten oder 7ten Wedgwood'schen Grad zwischen die Leisten ab und cd hineinschieben lassen, machen den zweiten wesentlichen Bestandtheil des Instrumentes aus. Will man nun mit diesem die Hitze, z. B. in einem Schmelzofen u. s. w., bestimmen, so bringt man dahin einen solchen Thoncylinder, beläßt diesen so lange darin, bis er die daselbst herrschende Hitze angenommen hat, nimmt ihn nachher heraus, läßt ihn erkalten und schiebt ihn hierauf, so weit es geht, zwischen die Leisten ab und, cd oder cd und ef hinein, sieht an der auf diesen Leisten verzeichneten Scale, um wie viele Grade er nun weiter hineingeht, als bevor er der besagten Hitze ausgesetzt worden und zählt jetzt für jeden dieser Grade 44·44° R. zu der dem Nullpunkte der Scale entsprechenden Temperatur von 464·4° R. hinzu. Die Anzahl Grade, um welche ein Thoncylinder schon vor der Anwendung, d. i. unmittelbar nach dem Trocknen und Brennen, tiefer als bis an den Nullpunkt zwischen die Leisten sich einschieben läßt, wird gewöhnlich an der vordern kleineren Fläche n des Thoncylindens notirt. Da, wie Pictet zeigte, von Wedgwood die Ausdehnung des Silbers, worauf er die Vergleichung seiner Pyrometerscale mit der

Scale des Fahrenheit'schen Thermometers gründete, unrichtig bestimmt, da ferner schon von Saussure nachgewiesen wurde, daß verschiedene Thoncylinder, auch die aus echtem Cornwalliser Thon, in gleichen Hitzgraden ungleiche Zusammenziehungen erleiden, da endlich nach Daniell's Erfahrungen die erwähnten Thoncylinder sich keineswegs der Wärme proportional, sondern in einer mäßigen, aber lange andauernden Hitze ebenso stark zusammenziehen, wie in einer großen, jedoch nur kurze Zeit einwirkenden Hitze; so verdienen die Angaben des besprochenen Pyrometers gar kein Vertrauen. Ein empfehlenswerthes Instrument, ist hingegen das von Daniell construirte Pyrometer. Die Anzeigen desselben sind das Resultat des Unterschiedes in der Ausdehnung des Eisens oder Platins und des Graphits, und es enthält zwei von einander abgesondert bestehende Theile, jenen, welcher der Hitze ausgesetzt wird, und dann den eigentlichen Meßapparat. Ersterer ist eine solide, 8 engl. Zoll lange, 0·7 Zoll breite und ebenso dicke, aus einem gewöhnlichen Graphittiegel herausgeschnittene Graphitstange **DD**, **DD** (Fig. 725 bei **I** und **II**). In diese ist der Länge nach durch die Mitte ein rundes (bei **I** und **II** punktirt angezeigtes) Loch, von 0·3 Zoll Durchmesser und 7·5 Zoll Tiefe gebohrt. Diese viereckige Stange ist am oberen Ende an der einen Seite, etwa in einer Länge von 0·6 Zoll und bis zur Tiefe des halben Durchmessers der Bohrung ausgeschnitten (in der Figur ist bei **II** m n o m'n'o' dieser Ausschnitt). In die Bohrung **r** wird eine 6·5 Zoll lange Stange **s** aus Eisen oder Platin versenkt, so daß sie am untern geschlossenen Ende der Graphitröhre aufsitzt, und auf das obere Ende dieser Stange wird in die Bohrung ein etwa 1·5 Zoll langer Porzellancylinder **z**, der sogenannte Index, aufgesetzt, welcher daher über das obere, offene Ende der Graphitröhre hervorragt. Derselbe wird an seiner Stelle durch einen Reif oder Streifen **p** aus Platin festgehalten, der um die Graphitstange und den Porzellancylinder herumgeht, und durch einen kleinen Porzellankeil **k**, den man zwischen die Graphitstange und den Reif eintreibt, wird letzterer an den Porzellancylinder und dieser an die Graphitstange ziemlich fest angedrückt. Es leuchtet ein, daß, wenn man eine solche Vorrichtung einer hohen Temperatur aussetzt, die Metallstange, in dem Maße, als sie sich mehr ausdehnt wie die Graphitstange, den Index nach außen (aus der Graphitröhre weiter heraus) schieben und ihn, wenn der Apparat nachher wieder erkaltet, an der Stelle der größten Verschiebung stehen lassen wird. Es handelt sich dann nur um eine genaue Messung der Distanz, um welche der Index aus seiner ursprünglichen Stellung vorwärts getrieben wurde, und dazu dient der zweite Haupttheil des ganzen Pyrometers, d. i. der sogenannte

Fig. 725.



Meßapparat. Derselbe gestattet selbst die kleinsten Verschiebungen des Index fast mit astronomischer Genauigkeit zu messen und besteht aus einer Regel (aus einem Lineale) A A von Messing (Fig. 725 bei III), an deren einer (in der Zeichnung rückwärtigen) Seitenfläche eine zweite derartige, aber kleinere Regel a a mittelst Schrauben b b, auf der andern (vordern) Fläche hingegen die kleine Schiene a' zu A A rechtwinklig befestigt ist. Die besagten zwei mit einander vereinigten Regeln passen, an die Graphitstange angelegt, genau an zwei Seitenflächen derselben, so daß, wenn die (in der Zeichnung) vordere Fläche von a a an der hinteren Seitenfläche e e' d (bei II) der Graphitstange anliegt, die Kantenfläche c c der Regel A A sich genau an die Seitenfläche n' o' der besagten Stange anschmiegt. Die an A A rechtwinkelig befestigte Schiene a' läßt sich dann, indem die zwei Regeln in der beschriebenen Weise an den zwei Seitenflächen der Graphitstange anliegen, mit ihrer untern Kante auf die Schulter, welche durch den Ausschnitt am obern Ende der Graphitstange gebildet worden, genau aufsetzen, so daß nun das ganze Linealsystem an drei Flächen mit der Graphitstange, ohne irgendwie wanken zu können, in Berührung steht. An dem oberen zurückgebogenen Ende der Regel A A ist eine andere Messingschiene B festgeschraubt, die einerseits etwas gebogen ist, so daß das Ende (g) gerade in die Verlängerung der Bohrung in der Graphitstange fällt, wenn die ganze Vorrichtung an diese angelegt worden. Der andererseits vorstehende Arm ist genau 5·5 Zoll lang und trägt am Ende einen Kreisbogen h h, der in Grade und Drittel eines Grades genau von 5 Zoll Halbmesser getheilt ist. Die ganze Schiene B ist mittelst eines, um das Centrum d beweglichen Scharniers befestigt, ohne Zweifel zu dem Zwecke, damit man durch untergelegte dünne Bleche den Bogen h h so weit heben kann, daß der Nonius s auf dem Nullpunkte des besagten Bogens einsteht, wenn vor dem Versuche die Spitze K des gleich zu erwähnenden Armes K l das obere Ende des Index z z berührt, wodurch die Messung bequemer wird, obgleich man auch von jedem niedrigeren Punkt der Eintheilung zu einem höheren übergehen kann. Um das Centrum des Bogens h h dreht sich der leichtere Arm K l. Das eine Ende l desselben trägt einen, auf dem Gradbogen gleitenden, diesen in Minuten theilenden Nonius s und das andere eine Stahlspitze K, deren Abstand vom Centrum f genau 0·5 Zoll oder $^1{}_{10}$ des Halbmessers f s und auch dem gegenseitigen Abstande der zwei Mittelpunkte f und d gleich ist. In einem Ausschnitte des das Bogenstück h h tragenden Armes B ist eine kleine Stahlfeder m m festgeschraubt, welche gegen einen aus der Rückseite des Noniusträgers K l hervorragenden Stift (bei n) drückt und hierdurch diesen Träger hebt, so daß sein Ende K jederzeit mit der obern Endfläche des Index z z in Berührung bleibt. i ist eine Loupe, die in der Zeichnung flach auf den Träger K l niedergelegt erscheint, sich aber bei l und r in Scharnieren bewegen und dadurch so stellen läßt, das man die Scale am Bogen h h und den Stand des Nonius auf derselben genau beobachten kann.

Der Gebrauch des Instrumentes ist nun von selbst klar. Wenn nämlich damit eine Hitzgradmessung gemacht werden soll, so wird in die Höhlung der Graphitröhre erst die Metallstange s, hierauf der porzellanene Index z z eingeschoben, so daß letzterer auf dem obern Ende von s aufsitzt, derselbe nun mittelst des früher erwähnten Platinstreifens und Porzellankeiles in dieser Stellung festgemacht und nun die Regel des Meßapparates in oben angegebener Weise so genau an die Graphitröhre angelegt, daß die betreffenden Flächen beider (der Regel und der Röhre) zur innigen Berührung kommen, wobei der Nonius eigentlich auf dem Nullpunkte der Scale einstehen soll, wenn die Stahlspitze K das obere Ende des Index berührt, obgleich er auch auf irgend einem andern Scalepunkt einstehen kann. Alsdann wird der Meßapparat wieder weggenommen und die Graphitröhre mit der Metallstange und dem Index der zu messenden Hitze ausgesetzt, wo nun der Index

zu Folge der Ausdehnung der Metallstange in die Höhe geschoben wird. Man läßt hierauf die Graphitröhre mit ihrem Inhalte erkalten, wobei der Inder wegen der Reibung, die er vermöge seiner Einklemmung mittelst des Platinstreifens p und des Keiles k erfährt, nicht mehr in seine vorige Stellung zurückfällt, legt abermals den Meßapparat an, liest den Stand ab, den dann der Nonius hat, während die Stahlspitze **K** wieder mit dem obern Ende des Inder in Berührung gebracht ist, und erhält so mittelst der Anzahl Grade, um welche der jetzige Stand des Nonius vom vorigen verschieden ist, die durch die Hitze erzeugte Verlängerung der Metallstange s. Das Ziel des Ganzen ist demnach kein anderes, als die durch die Hitze bewirkte Ausdehnung der Stange s mit größter Schärfe vermittelst einer Art von Fühlhebel zu messen und hiernach die betreffende Hitze zu bestimmen. Es ist nämlich einleuchtend, daß man aus der bekannten Ausdehnung des Materials der Stange, des Eisens oder des Platins, bei bestimmter ursprünglicher Länge der Stange und dem gegebenen Verhältnisse der Hebelarme, die vom Nonius durchlaufenen Grade leicht auf die eines bekannten Thermometers zurückführen könne.

Unter der Voraussetzung, daß von der gewiß nur äußerst geringen Ausdehnung oder Schwindung des Graphits in der Hitze abgesehen werde, wie dies auch Daniell that, handelt es sich also bei dem Instrumente bloß um die Bestimmung der durch die Hitze bewirkten absoluten Ausdehnung der Stange (s), welche aus den Anzeigen der Scale des Bogenstückes hh nach dem Satze geschieht, daß die Sehne des auf der Scale abgelesenen Bogens zum Halbmesser von hh sich ebenso verhält, wie das doppelte des (aus einer Tafel der natürlichen Sinuse genommenen) Sinus der Hälfte des abgelesenen Bogens zu **1**. Wird mittelst dieser Proportion die besagte Sehne berechnet, so braucht man den gefundenen Werth, (da der Halbmesser von hh **10** Mal größer ist als der Halbmesser Kf) nur durch **10** zu dividiren, und hat dann die fragliche absolute Ausdehnung der Stange (s). Gesetzt, es betrüge der auf der Scale abgelesene Bogen 4°, so fände man, da der natürliche Sinus von 2° = 0·0348995 ist, aus der Proportion $x : 5'' = 0{\cdot}0348995 \times 2 : 1$ die Sehne x des Bogens von 4° = 0·348995 Zoll und durch Division dieses Werthes mit **10** die erfolgte absolute Ausdehnung der Stange (s) = 0·0348995 Zoll. Man sieht, daß, da die Multiplikation mit **2** und mit **5** constant bleibt, und durch die nachfolgende Division mit **10** immer aufgehoben wird, die besagte Multiplication und Division ganz unterlassen werden kann, und man nur den natürlichen Sinus der Hälfte des auf der Scale abgelesenen Bogens aufzusuchen und diesen Sinus als den Decimalbruch eines Zolles zu lesen habe. Da übrigens die Sehnen so kleiner Bögen, wie sie auf der Scale zu messen kommen, und welche nie mehr als 10° betragen, diesen Bögen sehr nahe proportional sind, so können letztere (die Bögen) selbst ohne merklichen Fehler als das Maß der zu bestimmenden Ausdehnung betrachtet werden. Die folgende kleine Tafel, welche den Werth eines Grades und der Minuten angibt, dürfte daher für die Praxis nützlich sein.

1° 0′ = 0 00872 Zoll		0° 10′ = 0·00145 Zoll
0 30 = 0·00436 „		0 5 = 0·00072 „
0 20 = 0·00290 „		0 2 = 0·00029 „
0 15 = 0·00218 „		0 1 = 0·00014 „

Nach dieser Tafel ergibt sich (durch Multiplication von 0·00872 mit 10 für die Sehne von 10° der Werth 0·0872, während er in Wirklichkeit 0·0871 ist; die Differenz von $^{1}/_{10000}$tel Zoll kann jedoch in den meisten Fällen außer Acht gelassen werden.

Obgleich eine genaue Uebereinstimmung einer großen Zahl von Daniell selbst unternommener Messungen unter sich und mit andern Erfahrungen sehr für das in Rede stehende Pyrometer sprechen, so ist doch nicht zu verkennen, daß dasselbe deswegen nicht ganz frei von Unsicherheit ist, weil, abgesehen von der gewiß stattfindenden und unberücksichtigt belassenen Einwirkung der Hitze auf die Graphitröhre, es auch leicht geschehen kann, daß der Platinstreifen p (zu Folge in der Hitze eintretender Verlängerung) den Inder etwas weiter fortgleiten läßt, als die Ausdehnung der Stange allein es bewirkt. Andererseits kann der Platinstreifen, indem er etwas gestreckt wird, federnd das Porzellanstück beim Erkalten wieder etwas zurückziehen. Im ersteren Falle würde hiernach die Hitze zu groß, im letzteren dagegen zu klein gefunden werden. Zu allen dem kommt das noch keineswegs genau bestimmte Verhalten des porzellanenen Inder beim Messen hinzu, und man sieht somit, daß man auch diesem Instrumente zum Behufe sehr scharfer Bestimmung kleiner Größen nicht völlig vertrauen könne.

Ein Pyrometer, welches zwar noch weniger einen hohen, aber doch einen für technische Zwecke gewöhnlich hinreichenden Genauigkeitsgrad gewährt und sich zugleich durch die große Einfachheit seiner Einrichtung und seines Gebrauches empfiehlt, ist das von **Petersen** angegebene **Luftpyrometer**. Dasselbe besteht aus einem hohlen, kugel- oder birnförmigen, in der Wand mäßig dicken Körper A von Platin (Fig. 726), der entweder durch Zusammenlöthen aus zwei Hälften, oder durch Austreiben aus einem Stücke Platin erhalten wird. (Das Zusammenlöthen geschieht im stärksten Feuer mittelst eines sehr dünnen Goldblattes, welches zwischen die mit den Rändern übereinander geschobenen Hälften von A eingelegt wird, und in dem besagten Feuer mit den Platinflächen der beiden Hälften sich so innig verbindet, daß die Verbindungsstelle, ohne zu schmelzen, fast die nämliche Hitze wie das Platin selbst erträgt.) Der kubische Inhalt von A ist willkürlich; jedoch reicht ein Kubikzoll, selbst als Maximum genommen, für die meisten, insbesondere für alle technischen Zwecke vollkommen hin, (auch $1/2$, ja selbst $1/4$ Kubikzoll genügt), nur wenn es sich um Erzielung höherer Genauigkeit handelt, ist es vortheilhaft, die Versuche in größerem Maßstabe anzustellen, und daher dem Platinkörper A ein größeres Volum und mehr Wanddicke zu geben. An diesem Körper (A) befindet sich ein kurzer Hals b, welcher bei c in einen etwas breiten Rand endigt, über welchem der dünnere, etwa 2 3 Linien lange, cylindrische Hals zu einer männlichen Schraube geschnitten ist, auf die das mit einer hohlen Schraube versehene Hütchen d aus Platin sich so aufschrauben läßt, daß der Rand des letzteren mit dem Rande c zur Berührung kommt. Es ist der Verschluß, der so erzielt wird, gewöhnlich ohnehin kein luftdichter; sollte er es aber zufällig sein, was man durch eine einfache Probe leicht ermitteln kann, so wäre demselben und zwar in der Art abzuhelfen, daß der Communicationsweg zwischen der Höhlung des Körpers A und der Umgebung des letzteren immer nur ein äußerst enger ist, die Luft daher ebenso aus der besagten Höhlung A heraus, wie in dieselbe hinein nur sehr langsam dringen kann. Beim pyrometrischen Gebrauche wird der vorher mit wohl getrockneter Luft gefüllte und nachher mit dem Hütchen d in besagter Weise (nicht völlig luftdicht) verschlossene Platinkörper so lange der zu prüfenden Hitze ausgesetzt, bis man versichert sein kann, daß er und die Luft in demselben diese Hitze völlig angenommen haben, hierauf wird er schnell in Wasser geworfen, darin bis zu seiner früheren Temperatur abkühlen gelassen und dann aus dem Gewichte des in die Höhlung A eingedrungenen Wassers die durch die Hitze bewirkte Ausdehnung der Luft in A und hieraus die Höhe dieser Hitze bestimmt. Das nähere Detail des Verfahrens hiebei ist folgendes. Vor allem ist erforderlich, daß die im Platinkörper enthaltene Luft ganz trocken sei, und es muß auf die Erfüllung dieser Bedingung um so sorgfältiger Bedacht genommen werden, als es leicht der Fall sein könnte, daß ein Theil des bei einem früheren Versuche in den Platinkörper eingedrungenen Wassers daselbst zurückgeblieben ist. Um nun die besagte Bedingung sicher zu erreichen, wird das Hütchen d von dem übrigen Platinkörper abgenommen und dieser dann mit der männlichen Schraube an seinem Halse in den durch Fig. 727 dargestellten Apparat BB eingeschraubt, so daß die Ränder bei c abermals zur genauen Berührung kommen. Dieser Apparat besteht aus einem cylindrischen Messingstücke $\alpha \alpha \alpha_1 \alpha_1$, an dem der untere Theil $\alpha \alpha$ eine hohle Schraube zur Aufnahme der besagten männlichen Schraube enthält, der obere dickere Theil $\alpha_1 \alpha_1$ aber in einer hölzernen Hülle $\beta \beta_1$ steckt, um ihn daran fassen und halten zu können, ohne, wenn das Messingstück heiß wird, die Finger zu beleidigen. In der Mitte des Messingstückes und seiner Länge nach geht ein enger Kanal durch, der am obern Ende zu einer konischen, wohl ausgeschmirgelten Oeffnung sich erweitert. In diese paßt die konische Verlängerung γ der messingenen Röhre mnop, welche auf ihrem Boden über dem feinen durch die Verlängerung gehenden Kanale eine Lage r trockener Baumwolle festgedrückt enthält und darüber bis ans Ende mit Chlorcalcium-Stücken angefüllt ist. Soll nun das Pyrometer zu einer Messung gebraucht werden, so schraubt man das Hütchen d von dem Körper A ab, dagegen den Apparat BB, jedoch ohne der Röhre mnop, auf, erhitzt den Körper A über einer Weingeistlampe bis mehrere Grade über den Siedpunkt des Wassers, so daß das Messingstück, welches man an seiner hölzernen Hülle $\beta \beta_1$ hält, mindestens bis zur Siedhitze gelangt, mithin alle Feuchtigkeit entweichen muß, entfernt hierauf die Lampe und steckt gleichzeitig die unterdeß in Bereitschaft gehaltene Röhre mnop auf, wo dann bei allmäliger Abkühlung des Körpers A in denselben an die Stelle der durch die Hitze ausgetrie-

Fig. 726.

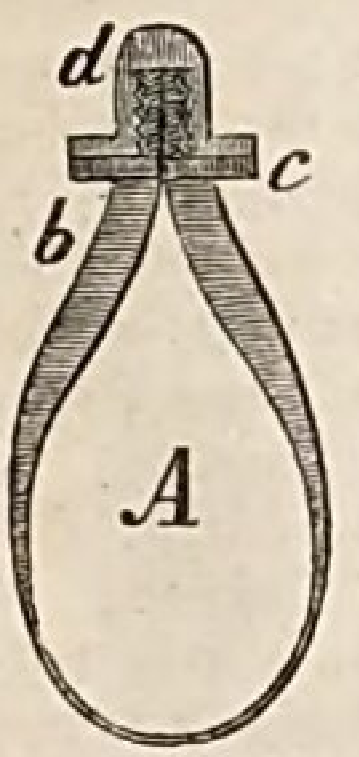
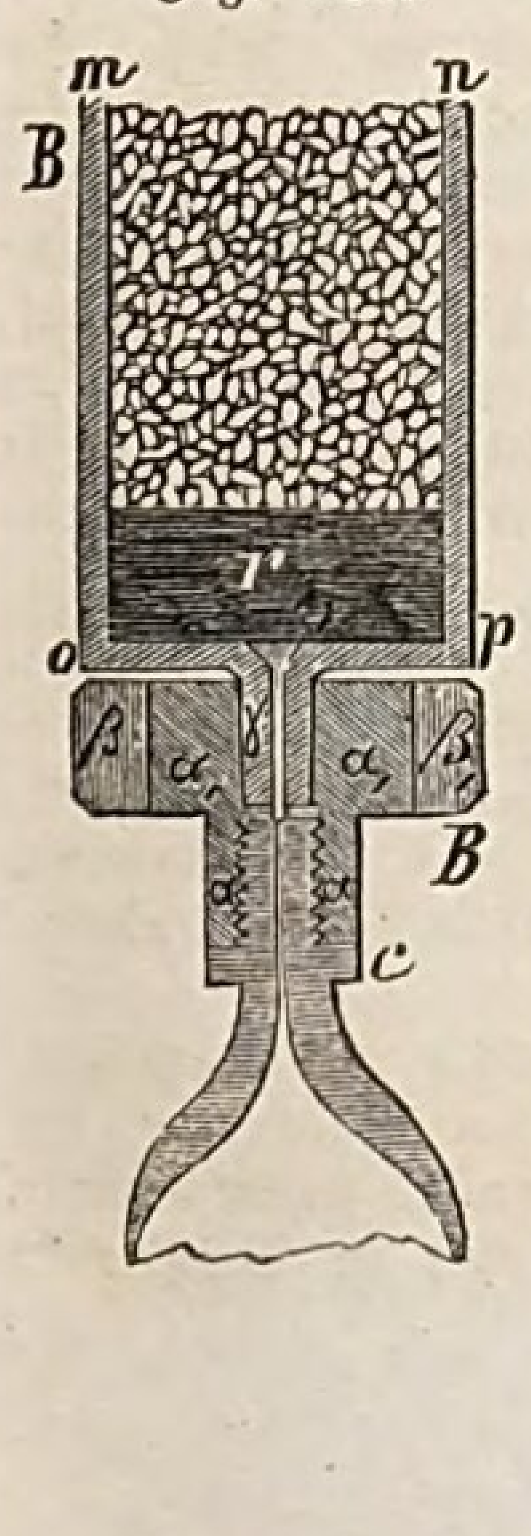
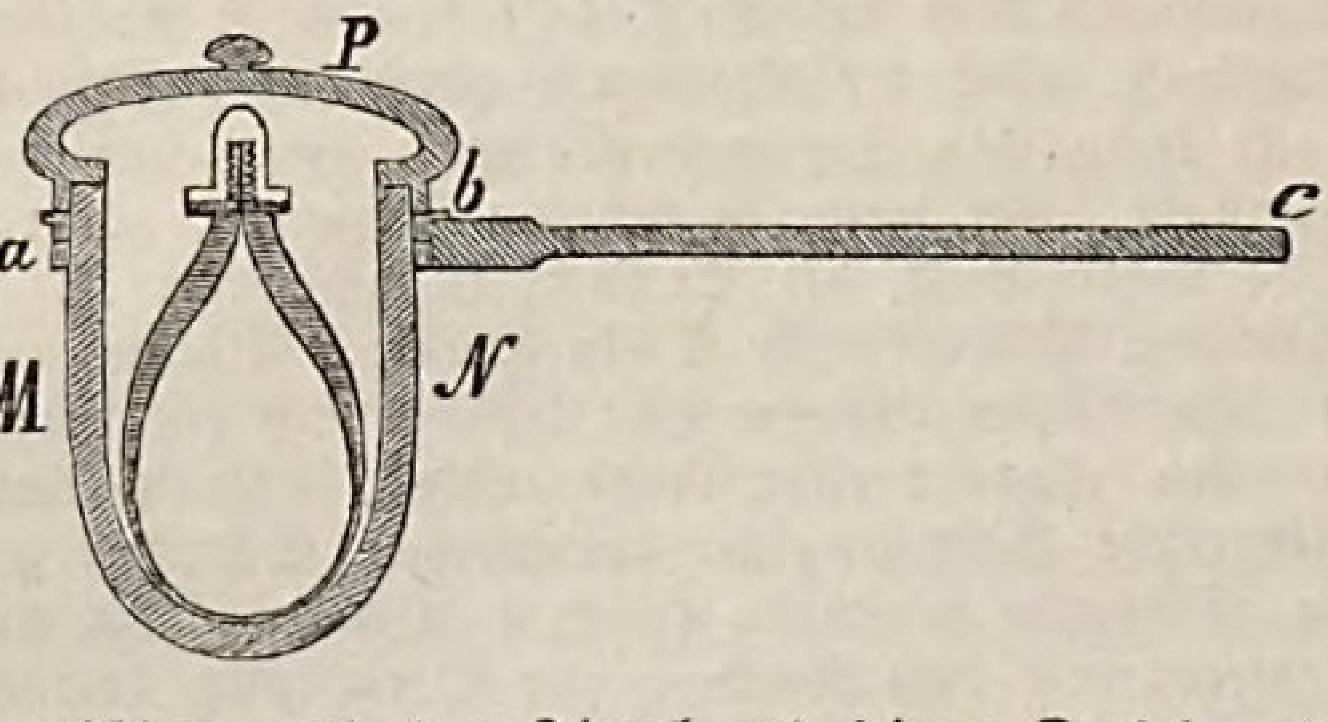


Fig. 727.



benen feuchten Luft durch das Chlorcalcium völlig getrocknete Luft eindringt. Man kann diese sehr leichte Operation mehrere Male wiederholen, um nicht fürchten zu müssen, daß der Körper A nach dem Erhitzen noch Dampf enthalten, und dieser bei der Abkühlung darin sich wieder niedergeschlagen habe. Ist man der vollkommenen Austrocknung versichert, so entfernt man den Apparat BB vom Körper A, schraubt das Hütchen d auf letzteren auf, und es ist nun das Pyrometer zum Gebrauch hergerichtet. Zu diesem Ende kann dasselbe einfach unmittelbar in die zu messende Hitze gebracht werden; besser ist es aber, insbesondere bei sehr hohen Hitzgraden, diesen das Pyrometer, in einem Graphittiegel eingeschlossen, auszusetzen. Dieser Tiegel MN (Fig. 728) muß eine dem Pyrometer angemessene Größe haben, so daß letzteres darin freien Spielraum hat, und er ist in einem massiven eisernen, zur Verhütung des Verbrennens mit Thon beschlagenen Ringe ab befestigt, welcher letztere an einer massiven eisernen Stange bc festsitzt, deren Länge hinreicht, um den Tiegel mitten in die stärkste Hitze zu bringen. Ueber der Oeffnung des Tiegels liegt ein nur wenig über dessen Rand hervorragender Deckel P so lose, daß derselbe leicht und schnell herabfallen gemacht werden kann. Für die höchsten Hitzgrade ist es, um das Zusammensintern oder Zerspringen des Tiegels zu verhüten, gut, den Tiegel und seinen Deckel noch obendrein mit einer sehr feuerfesten Thonmasse zu beschlagen. Nachdem der Apparat der Hitze so lange ausgesetzt war, als erforderlich ist, ihm selbst die zu messende Temperatur mitzutheilen und die Luft in A gehörig auszudehnen, wobei je nach dem Temperaturgrade ein kleinerer oder größerer Theil derselben durch die nicht luftdicht schließende Schraube des Hütchens entweicht, nimmt man den Tiegel rasch aus der Hitze (das Einsetzen und Herausnehmen des Tiegels kann auch mittelst einer denselben umfangenden, hinreichend langen Zange geschehen, wo dann der Ring ab und die Stange bc überflüssig sind) und wirft so schnell als möglich und ohne Zeit zur Abkühlung zu lassen, den Deckel P herab und das Pyrometer A aus dem Tiegel heraus in ein schon bereitstehendes Behältniß mit destillirtem Wasser oder nur mit Regenwasser. Bei der so stattfindenden Abkühlung bringt das Wasser durch die feinen Kanäle der Hütchenschraube in den inneren Raum A des Platinkörpers ein, ohne daß die darin noch vorhandene Luft entweichen kann, weil die am meisten massive Spitze dieses Körpers als dessen spezifisch schwerster Theil sich im Wasser sogleich nach unten senkt. Man nimmt dann, wenn das Wasser im erwähnten Behältnisse sammt dem Platinkörper auf die Temperatur gekommen ist, welche dieser Körper und die ausgetrocknete Luft darin unmittelbar vor dem Versuche hatten (man wählt als eine solche Normaltemperatur am besten 20° C.), den Platinkörper mit einer Zange aus dem Wasser, trocknet ihn schnell mit feinem Fließpapier ab und bestimmt auf einer empfindlichen Wage das Gewicht des eingedrungenen Wassers, wonach die durch den zu prüfenden Hitzgrad bewirkte Ausdehnung der Luft in A und somit dieser Grad selbst sich leicht ergibt.

Fig. 728.



Denn wurde ein für alle Male das Gewicht des Wasserquantums bestimmt, welches bei 20° C. im Pyrometer Platz hat, so ergibt sich aus diesem Gewichte und dem Gewichte des nach dem Abkühlen des erhitzten Pyrometers in dasselbe eingedrungenen Wassers unmittelbar das Verhältniß $\nu_1 : \nu$, d. i. des Volums, welches die Luft nach dem Eindringen des Wassers einnimmt, zu dem Volum, welches die Luft vor dem Versuche bei 20° C. in A eingenommen hat, zu welchem also das Luftvolum ν_1 durch die zu messende Temperatur t ausgedehnt war. Nun ist nach S. 257 $\nu = \nu_0(1 + 0{\cdot}00366\,t)$ und $\nu_1 = \nu_0(1 + 0{\cdot}00366 \times 20)$, wenn ν_0 das in beiden Fällen auf die Temperatur 0° reduzirte Volum der nämlichen in A enthaltenen Luftmenge bedeutet; man hat daher $\frac{\nu}{\nu_1} = \frac{1 + 0{\cdot}00366\,t}{1 + 0{\cdot}00366 \times 20}$ und erhält hieraus den in Frage stehenden Werth von t. Daß sich für jedes Pyrometer der eben beschriebenen Art leicht eine Tabelle berechnen lasse, welche neben den betreffenden Gewichten (der eingedrungenen Wassermengen) zugleich die entsprechenden Temperaturen enthält, bedarf wohl keiner Erwähnung, und es versteht sich ebenso, daß der Verfertiger des Luftpyrometers selbst diese Tabelle entwerfen und dem von ihm verfertigten Apparate beigeben sollte.

Ein anderes Luftpyrometer, dessen Einrichtung und Anwendung jedoch viel complizirter ist, welches aber auch weit genauere Messungen gestattet, als das eben beschriebene, hat Pouillet erdacht. Das Nähere über dieses Instrument und seinen Gebrauch findet man in Pouillet's Éléments de Physique. 4. Auflage, 1. Band, S. 253—269, oder in Gehler's

physischem Wörterbuche 7. Band, S. 1001, und es kann hier bloß auf diese Werke hingewiesen werden.

Zum Schluß über Pyrometer muß endlich noch ein von J. Prinsep gemachter Vorschlag, Hitzgrade zu messen, besprochen werden, welcher zwar bis jetzt noch nicht wirklich ausgeführt worden zu sein scheint, dessen Ausführung jedoch schon von vorneherein zu einem einfachen, wohlfeilen, bequemen und guten Pyrometer zu führen verspricht. Dem besagten Vorschlage gemäß sollen nämlich die Hitzgrade aus den Schmelzpunkten verschiedener Metalle und Metallgemische, welche die Punkte der pyrometrischen Scale bilden, entnommen werden. Als äußerste Punkte dieser letzteren sollen das Silber und das Platin, und für die Zwischengrade Legierungen aus Silber und Gold, das Gold selbst, dann Legierungen aus Gold und Platin dienen, so daß der Nullpunct der Scale durch den Schmelzpunkt des reinen Silbers und die bis zum höchsten Grad derselben, zum Schmelzpunkt des Platins nämlich, allmälig immer höheren Grade durch die Schmelzpunkte von Metallen gebildet werden, die der aufsteigenden Reihe nach aus Legierungen von Silber mit 10, 20, 30 . . . 90 Prozent Gold, dann aus reinem Golde, ferner aus Legierungen dieses letzteren Metalls mit 1, 2, 3, 4 u. s. w. bis 99 Prozent Platin bestehen und wovon jedes zum Schmelzen einer desto höheren Hitze bedarf, je mehr es in der Reihe vom reinen Silber ab- und dem Platin nahe steht. Man erhält so 111 verschiedene, unveränderliche Schmelzpunkte, die eben so viele verschiedene fixe, für alle vorkommenden Fälle hinreichende pyrometrische Grade abgeben, nach welchen sich leicht, aber nur relative Hitze-Bestimmungen vornehmen lassen. Wird jedoch mittelst eines der oben besprochenen Luftpyrometer, am besten mittelst des Pouillet'schen, vorhinein (natürlich nur ein für alle Male) der Werth der Prinsep'schen Pyrometergrade nach Thermometergraden, d. h. wird z. B. die Anzahl der Grade nach Celsius bestimmt, welche der Schmelzhitze des Silbers, der Legierung dieses Metalls mit 10, 20 ꝛc. ꝛc. Prozenten Goldes u. s. w. entspricht; so hat man an der von Prinsep vorgeschlagenen Metallreihe offenbar ein recht gutes Pyrometer, welches, da es sich immer und überall ganz in der nämlichen Beschaffenheit verfertigen läßt, in die pyrometrischen Messungen Uebereinstimmung bringt und sich noch überdieß durch Wohlfeilheit und Einfachheit in der Einrichtung, so wie durch Bequemlichkeit und Leichtigkeit der Anwendung sehr empfiehlt: denn man braucht von den besagten Metallen nur ganz kleine Massen, etwa Kügelchen von der Größe eines Stecknadelkopfes, für welche die Kosten in Rücksicht ihrer Dauerhaftigkeit (indem sie nicht durch Oxydirung abgenützt werden) von keinem Belang sind, und welche, in einem Kästchen in nummerirten Zellen der Reihe nach neben einander liegend, einen geringen Raum einnehmen, also leicht in der Tasche mit herumgetragen und eben so leicht in beliebiger Ordnung zur Hand und in Gebrauch genommen werden können. Bei letzterem werden sie einzeln in Testen aus Graphit oder anderem feuerfesten Materiale entsprechend lange Zeit der zu prüfenden Hitze ausgesetzt und diese Hitze wird nach dem (auf Thermometergrade reduzirten) Schmelzpunkte derjenigen Legierung bemessen, welche darin am leichtesten schmilzt. Jede bei einem Versuche geschmolzene Legierung darf nachher nur unter dem Hammer zur vorigen Form gebracht werden, um wieder zu einem neuen Versuch geeignet zu sein.

373. Veränderung des Aggregationszustandes der Körper durch Wärme. Wir haben im Vorhergehenden die ausdehnende Wirkung der Wärme betrachtet. Geht diese Ausdehnung bei immer zunehmender Erwärmung über gewisse Grenzen, so wird, da mit dem Weiterauseinanderrücken der kleinsten Körpertheilchen die Molecularanziehung stets mehr abnimmt, endlich an die Stelle des bei festen Körpern vorhandenen Uebergewichtes dieser Anziehung über die Molekularabstoßung ein kleines Uebergewicht der letzteren

Kraft über die erstere treten, d. h. die festen Körper werden tropfbar flüssig werden, und bei tropfbar flüssigen Köpern wird aus dem nämlichen Grunde das eben besagte kleine Uebergewicht der Molecularabstoßung allmälig in ein unendlich großes übergehen, d. h. der tropfbare Körper wird in einen ausdehnsamen verwandelt werden.

374. Das Schmelzen der Körper. Der Uebergang eines Körpers aus dem festen in den tropfbaren Zustand, das sogenannte Schmelzen des Körpers, kann durch keine mechanische oder sonst eine andere Kraft, sondern bloß allein durch Wärme bewirkt werden, und die Ursache hiervon liegt darin, daß nur die letztere (die Wärme) alle Theile eines Körpers von einander entfernt, während bei jeder Dehnung desselben durch eine mechanische Kraft auch immer einige seiner Theile einander genähert werden. Rücksichtlich des Schmelzens finden jedoch große Verschiedenheiten unter den Körpern Statt. Manche sind leicht schmelzbar, werden also schon bei niedrigen Temperaturen tropfbar, wie Eis, Talg, Wachs, Schwefel u. s. w.; andere bedürfen hierzu schon höherer Temperaturen, wie Zinn, Blei, Zink u. s. w., wieder andere, z. B. Gold, Eisen, Platin, schmelzen nur in ungemein hohen Temperaturen. Die Tabelle **XXI** am Schlusse des Buches enthält die Schmelzpunkte (die Temperaturen des Schmelzens) mehrerer Körper. Die Kohle zu schmelzen ist bis jetzt noch gar nicht gelungen; nach der Analogie muß man jedoch schließen, daß auch sie schmelzbar sei, und daß es überhaupt keinen absolut unschmelzbaren Körper gibt, sondern daß alle schmelzen würden, wenn man nur hinlänglich hohe Temperaturen erzeugen und die chemische Zersetzung, die manche Körper (alle organischen und viele unorganische) erleiden, bevor sie die zum Schmelzen erforderliche Temperatur erreicht haben, verhindern könnte. Bei einigen dieser Körper kann der Zersetzung dadurch vorgebeugt werden, daß man sie während des Erhitzens unter einem hinreichend starken, das Entweichen der flüchtigen Bestandtheile verhindernden Drucke erhält. Auf diese Art ist es Hall gelungen, Marmor und mehrere vulkanische Substanzen zu schmelzen.

Die große Mehrzahl der Körper geht plötzlich aus dem starren in den flüssigen Zustand über; manche hingegen kommen vor dem Schmelzen in einen eigenthümlichen Zwischenzustand zwischen Starrheit und Flüssigkeit. So durchlaufen Wachs, Talg und mehrere andere Stoffe alle Grade der Weichheit, bevor sie flüssig werden. Körper dieser Art sind in der Regel Gemische aus zwei oder mehreren Substanzen, welche unvollkommen krystallisiren, oder deren jede bei einer andern Temperatur schmilzt. Während ein Körper schmilzt, nimmt er, wenn man ihm auch noch so viele Wärme zusendet, keine höhere Temperatur an; jede Vermehrung des Wärmezuflusses kann nur eine Beschleunigung des Schmelzens, keineswegs aber eine Temperaturveränderung bewirken. Die zufließende Wärme übernimmt die Funktion der Aggregatform-Aenderung und hört auf zu erwärmen und nach außen, auf das Gefühl oder das Thermometer, zu wirken. So behält Eis in dem wärmsten Zimmer während des Schmelzens fortwährend die Temperatur 0°, bei welcher es zu schmelzen beginnt; ein in demselben und dem daraus bereits gebildeten, damit aber noch in Berührung stehenden Wasser befindliches Thermometer zeigt beständig auf den Aufthauungspunkt, so lange noch etwas von dem Eise vorhanden ist. Alle zufließende Wärme wird also vom schmelzenden Körper absorbirt, so daß sie in jeder andern Beziehung ganz verschwindet; man nennt sie dann gebundene oder latente Wärme, und es stehen die Sätze fest: 1. Der Schmelzpunkt eines Körpers ist unveränderlich; 2. beim Schmelzen der Körper wird immer Wärme gebunden oder latent. Die Quantitäten der Wärme, welche gebunden werden, sind je nach der Natur und Beschaffenheit des schmelzenden Körpers verschieden, aber

immer sehr beträchtlich. Wir werden diese Quantitäten an einem andern Orte bestimmen lernen.

Vor Black, welcher im Jahre 1763 das besagte Latentwerden der Wärme nachwies, war man allgemein der Meinung, daß es zum Uebergang eines starren Körpers in den flüssigen Zustand nur des Hinzukommens einer sehr geringen Wärmemenge zu jener bedürfe, welche der bis zu seinen Schmelzpunkt bereits erhitzte Körper schon enthält. Diese Ansicht ist aber, wie Black zuerst dargethan, mit mehreren sehr beachtenswerthen Thatsachen ganz unverträglich. Betrachtet man z. B. wie Eis oder Schnee in der Luft eines warmen Zimmers schmelzen, so zeigt sich, daß diese Körper, wie kalt sie auch anfangs gewesen sein mögen, doch sehr bald bis zu ihren Schmelzpunkt erwärmt, und an der Oberfläche in Wasser verwandelt zu werden anfangen. Wenn nun zur Umwandlung des ganzen Eises oder Schnees nur das Hinzukommen einer sehr kleinen Wärmemenge erforderlich wäre, so müßte in wenigen Minuten, ja in einigen Sekunden eine große Masse dieser Körper schmelzen, da ihnen fortwährend Wärme aus der Umgebung zufließt. Es ist aber wohlbekannt, daß Eis- und Schneemassen ungemein langsam schmelzen, wie sich in manchen Gegenden bei den während des Winters stattgefundenen größeren Ansammlungen von Eis und Schnee ganz auffallend zeigt. Diese fordern, nachdem sie zu schmelzen angefangen haben, oft noch mehrere Wochen lang warmes Wetter, um vollständig in Wasser verwandelt zu werden. Die Ursache dieses langsamen Schmelzens ist keine andere, als daß noch eine sehr beträchtliche Menge Wärme in die schon schmelzende Eis- oder Schneemasse übergehen muß, um Wasser daraus zu bilden und daß es zum Uebergange so vieler Wärme einer langen Zeit bedarf. Es ist dies sehr wohlthätig, denn ein plötzliches Schmelzen des Eises und Schnees beim Eintritte der wärmeren Jahreszeit müßte in vielen Fällen die verheerendsten Ueberschwemmungen zur nothwendigen Folge haben.

Schmilzt ein Körper zu Folge eines chemischen Prozesses, ohne daß man Wärme zuführt, so tritt, da der schmelzende Körper aus seiner Umgebung die zum Schmelzen erforderliche Wärme absorbirt, immer Erkaltung ein, welche in gewissen Fällen, wo die Menge der absorbirten Wärme beträchtlich ist und die Absorbtion überdieß noch schnell vor sich geht, sehr hohe Grade erreichen kann. Hierauf beruhen die sogenannten Kältemischungen, d. i. Gemische aus gewissen festen Salzen und flüssigen Säuren, oder aber aus Salzen oder Säuren und Schnee oder Eis, welcher Gemische man sich zur Erzeugung größerer Kälte bedient, die dadurch entsteht, daß die festen Salze sich in den besagten Säuren auflösen und der Schnee oder das Eis, damit sie sich mit den hinzugebrachten Salzen oder Säuren verbinden können, flüssig werden müssen. In den Fällen, wo die Kälte mittelst Eis oder Schnee und eines festen Salzes hervorgebracht wird, trägt hierzu auch die Auflösung des letzteren in dem aus dem Eise oder Schnee entstandenen Wasser das Ihrige bei.

Bei einer Mischung von	fällt die Temperatur
3 Gew. Thl. Salmiak, 5 Salpeter, 16 Wasser	von +10° auf −10° R.
3 „ „ Glaubersalz, 2 Salpetersäure	„ 10° „ −12° „
8 „ „ Glaubersalz, 5 Salzsäure	„ 10° „ −14° „
1 „ „ Schnee, 1 Kochsalz	„ − 0° „ −14° „
1 „ „ Schnee, 1 Salpetersäure	„ −14° „ −35° „
3 „ „ Chlorcalcium, 4 Schnee	„ − 0° „ −36° „
1 „ „ Schnee, 1 Schwefelsäure	„ − 5° „ −41° „
3 „ „ Chlorcalcium, 2 Schnee	„ −14° „ −45° „
3 „ „ Schnee, 4 Potasche	„ − 0° „ −46° „

Wird ein Körper, der vorher (durch Wärme) aus dem starren in den tropfbaren Zustand versetzt worden, unter seinen Schmelzpunkt abgekühlt, so nimmt er wieder die feste Form an (erstarrt wieder), so daß der Schmelz- und der Erstarrungs- oder Gefrierpunkt ein und derselbe ist. Indeß lassen sich unter gewissen Umständen die tropfbaren Flüssigkeiten oft weit unter ihren gewöhnlichen Gefrierpunkt abkühlen, ohne daß sie erstarren. So läßt sich Wasser in einem enghalsigen Gefäße und bei völliger Ruhe bis auf — 10° und selbst auf — 15° C., also

10 bis 15° unter den gewöhnlichen Gefrierpunkt (den Schmelzpunkt des Eises) erkalten, ohne daß es gefriert . . . (1).

Die Wärme, die beim Schmelzen eines Körpers gebunden wurde, wird beim Erstarren desselben wieder frei. Darum behält Wasser, welches bei 0° C. langsam gefriert, während des ganzen Herganges immer die Temperatur 0°, ja in dem Falle, wo man es (auf die oben unter (1) erwähnte Weise) bei mehreren Graden unter den gewöhnlichen Gefrierpunkte flüssig erhalten hat, steigt, wenn man es zum Gefrieren bringt (was durch eine geringe Erschütterung bewerkstelligt werden kann) seine Temperatur unter Entstehung von Eisnadeln schnell auf 0°, und auch die Eisnadelmasse hat dann die nämliche Temperatur. Das Freiwerden von Wärme beim Gefrieren ist Ursache, warum das Wasser der Flüsse, Seen, u. s. w. immer nur partiell und langsam in Eis verwandelt wird, denn während ein Theil gefriert, nimmt das übrige Wasser die dabei freigewordene Wärme auf und wird also erwärmt.

Nach W. Thomson's neuesten Erfahrungen hängt die Erstarrungstemperatur des Wassers auch von dem auf letzterem lastenden Drucke ab und sinkt für jede Atmosphäre, um welche dieser Druck über den gewöhnlichen zunimmt, um 0·0135° F. (Pogg. Ann. B. 81, S. 163). Noch auffallender als im obigen Falle zeigt sich dieses Freiwerden latenter Wärme an einer übersättigten Auflösung von Glaubersalz in Wasser, die bei der Siedhitze des letzteren aus 3 Gew. Theilen des Salzes und 2 Gew. Theilen Wasser bereitet worden. Läßt man nämlich diese Auflösung, ungestört und durch etwas Oel auf der Oberfläche gegen Verdunstung geschützt, langsam erkalten, so verbleibt sie im tropfbaren Zustande, (obgleich sie viel mehr Salz aufgelöst enthält, als das Wasser bei der Temperatur, zu der sie sich abgekühlt hat, auflösen kann). So wie man sie aber erschüttert, oder mit einem festen Körper berührt und dadurch die hintangehaltene Krystallisation einleitet; so wird die Masse sehr rasch fest, und es tritt dabei eine sehr merkliche Erwärmung der Masse ein.

In dem beim Schmelzen und Erstarren der Körper vor sich gehenden Latent- und Freiwerden von Wärme finden noch viele andere merkwürdige Erscheinungen ihre Erklärung: z. B. die immer mehr zunehmende Kälte, welche man empfindet, so lange man Eis oder Schnee in der Hand hat, während, wenn man ein noch so kaltes Metallstück in die Hand nimmt, die anfangs empfindliche Kälte allmälig immer geringer wird und nach einiger Zeit ganz verschwindet; warum eine Bleikugel (Flintenkugel) in einer überall innig an sie anliegenden Hülle aus dünnem Papier in offener Kerzenflamme zum Schmelzen gebracht werden kann, ohne daß das Papier Feuer fängt, welches letztere sogleich stattfindet, wenn man das nämliche Experiment mit einer eisernen Kugel anstellt.

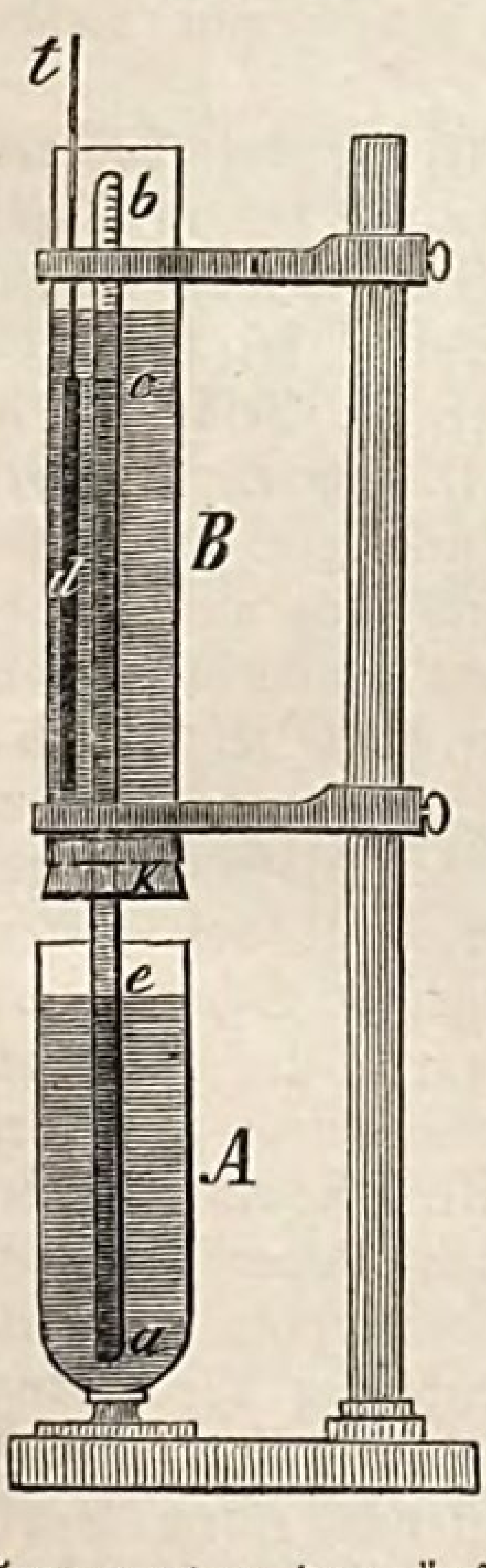
Der Schnee oder das Eis entzieht nämlich der Hand fortwährend Wärme, die beim Schmelzen desselben latent wird, mithin gleichsam verschwindet, während die der Hand vom Metalle entrissene Wärme die Temperatur des letzteren nach und nach immer mehr erhöht und jener der Hand gleichmacht. Da das Papier zum Brennen eine höhere Temperatur braucht, als das Blei zum Schmelzen, das schmelzende Blei aber alle von der Flamme kommende Wärme latent macht; so kann, so lange noch ungeschmolzenes Blei vorhanden ist, das Papier die zur Entzündung erforderliche Temperaturhöhe nicht erreichen.

375. Von dem Verdampfen der Körper überhaupt. Die zweite allgemeine Wirkung der Wärme in Bezug auf den Aggregatzustand ist die Umwandlung tropfbarer Körper in ausdehnsame Flüssigkeiten, sogenannte Dämpfe oder Dünste (S. 32). Diese Umwandlung findet am schnellsten und auffallendsten während jenes durch entsprechende Temperaturerhöhung herbeigeführten Zustandes einer tropfbaren Flüssigkeit statt, den man das Sieden derselben nennt (und welcher später näher besprochen werden wird), geht aber auch bei Temperaturen unter jener des Siedens und zwar, wie bekannt, im luftleeren und im mit was immer für einer Luft erfüllten Raume vor sich, und ist, wie unzählige Erscheinungen, deren mehrere wir an einem andern Orte kennen lernen werden, beweisen, in allen Fällen von einem Latentwerden von Wärme begleitet. Es soll nun zuerst von der Verdampfung (Dampfbildung) im luft-

leeren Raume und zunächst und vorzugsweise von der Bildung des für den Techniker besonders wichtigen Wasserdampfes gehandelt werden.

376. Erforschung der Gesetze des Verdampfens im luftleeren Raume. Hierzu haben mehrere Gelehrte verschiedene Wege eingeschlagen. Die im Folgenden beschriebenen, wenn gleich älteren und weniger genauen Verfahrungsweisen sind am besten geeignet, in Kürze eine deutliche Vorstellung davon zu geben, worauf es bei derartigen Untersuchungen ankömmt. Nach Dalton nehme man eine ihrer Länge nach in sehr kleine gleiche Längeneinheiten getheilte, z. B. nach Centimetern und Millimetern graduirte Barometerröhre, gieße frisch ausgekochtes Quecksilber hinein, bis sie beinahe ganz voll ist, und fülle sie vollends mit ebenfalls ausgekochtem Wasser an, so daß das Quecksilber an ihrem offenen Ende mit einer dünnen Wasserschichte bedeckt ist. Hierauf halte man die Röhre mit dem Finger zu, kehre sie zu wiederholten Malen um, und lasse die Flüssigkeit immer der ganzen Länge nach herablaufen, um die kleinen, den Wänden anhängenden Luftbläschen los zu machen. Man bringe nun die Röhre wieder in die ursprüngliche Stellung, wo ihre Oeffnung nach oben gekehrt ist, ziehe den Finger weg, lasse die Luft, die mit dem Reste des Wassers, der nicht an der Röhrenwand haften geblieben ist, sich nach der Oeffnung hin erhoben hat, entweichen, fülle jetzt Quecksilber nach, bis die Röhre wieder ganz voll ist, schließe letztere abermals mit dem Finger ab, so daß zwischen diesem und der Flüssigkeit gar keine Luft zurückbleibt, tauchte endlich das so verschlossen gehaltene Röhrenende unter Quecksilber in einem Gefäße, ziehe den Finger abermals weg und gebe der Röhre eine verticale Stellung, so daß das Ganze eine Art Gefäßbarometer darstellt. In Fig. 729 ist a b die Barometerröhre und A das Gefäß mit dem Quecksilber. In

Fig. 729.

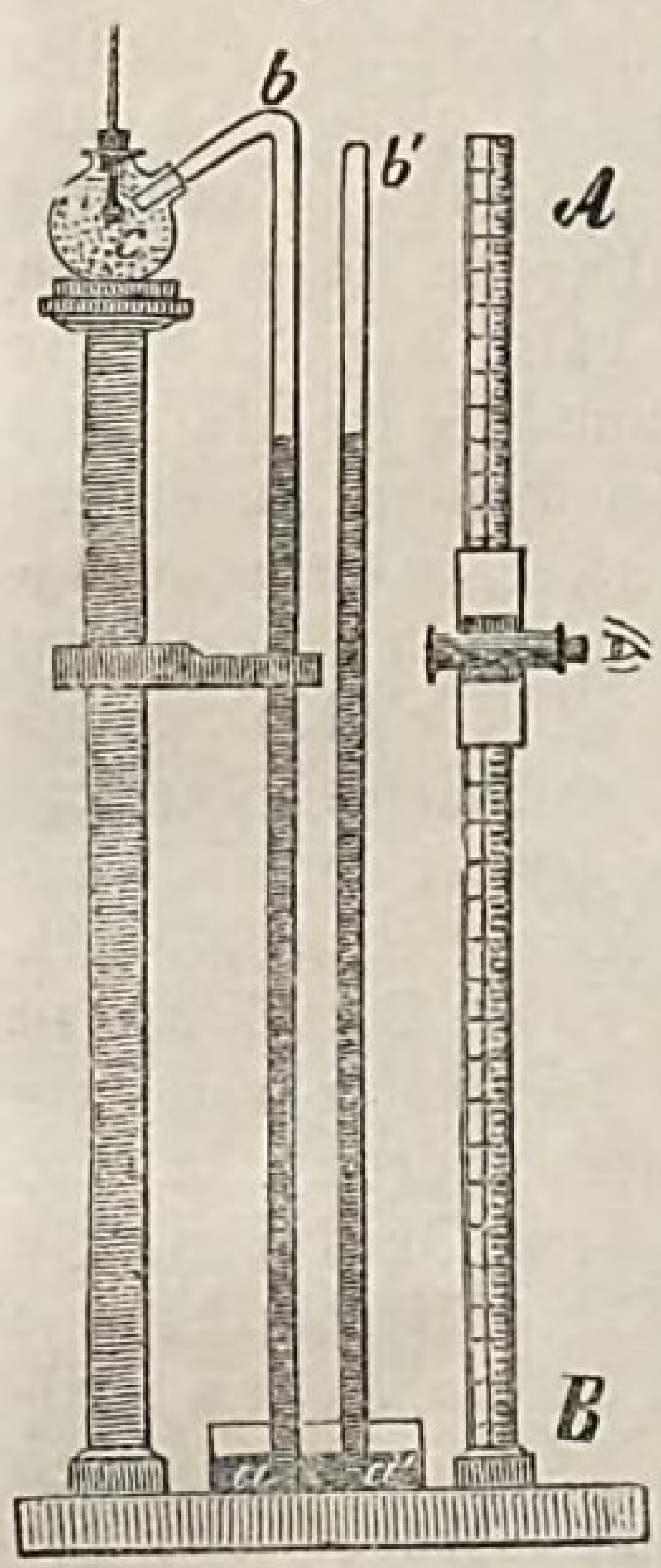


diesem Barometer steht nun die Quecksilberoberfläche c tiefer als zu derselben Zeit in einem andern an dem nämlichen Orte befindlichen, aber kein Wasser enthaltenden Barometer, und die Differenz kommt offenbar von der dem äußeren Luftdrucke entgegen wirkenden und die Quecksilbersäule herabdrückenden Expansivkraft (Spannkraft) des aus dem Wasser im Barometer entstandenen Dampfes und ist zugleich das Maß der Größe dieser Spannkraft. Umgibt man die Barometerröhre mit einem weiteren Rohre B von Glas, welches oben offen und unten mit einem langen Korkpfropfe k wasserdicht verschlossen ist, durch welchen ebenso dicht die Barometerröhre hindurchgeht, füllt dann das Rohr B mit Wasser an, und bringt dieses successive auf verschiedene Temperaturen, die von einem Thermometer t, mit langem cylindrischen Gefäße d, (welches sich durch die ganze Höhe des Wassers erstreckt und daher die mittlere Temperatur aller Schichten des letzteren zeigt) immer genau angegeben werden; so sieht man die Quecksilberoberfläche c mit zunehmender Temperatur immer mehr sinken, woraus auf die Zunahme der Spannkraft des Wasserdampfes geschlossen werden muß. Mißt man nun in jedem einzelnen Falle an der vornerwähnten Längentheilung der Röhre a b die Höhe der über dem Niveau in A erhobenen Quecksilbersäule c e, reduzirt sie auf die gleichzeitig stattfindende Temperatur der äußeren Atmosphäre und zieht sie von der Höhe ab, welche man in dem nämlichen Augenblicke in einem an demselben Orte vorhandenen gewöhnlichen (durch Auskochen von aller Luft und Feuchtigkeit befreiten) Baro-

meter beobachtet; so sind die Differenzen die Maße der den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Spannkräfte des Wasserdampfes, und man kann so diese Maße für alle Temperaturen von 0° bis 100° C. (von dem Gefrier- bis zum Siedpunkt des Wassers) erhalten.

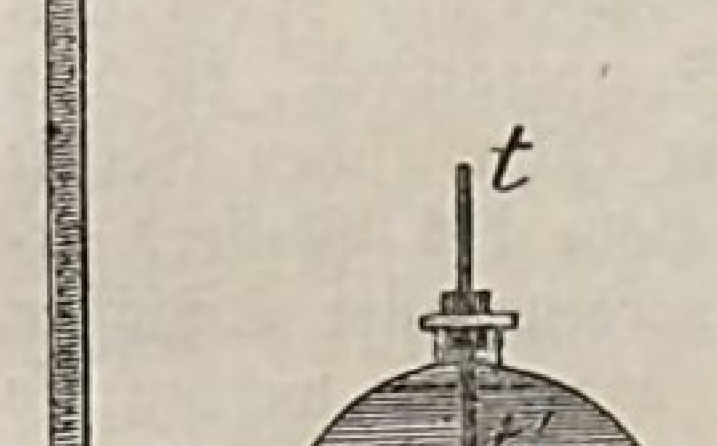
Zur Erreichung des nämlichen Zieles für Temperaturen unter 0°, bei welchen das in B entstandene Eis die Beobachtung des Quecksilberstandes in a b unmöglich macht, hat Gay-Lussac den durch Fig. 730 anschaulich gemachten Apparat angewendet. a b c ist die Röhre des das Wasser enthaltenden Gefäßbarometers; sie ist oben bei b etwas unter die Horizontalebene hinabgebogen, und ihr Ende c taucht in ein mit einer Kältemischung (S. 851) gefülltes Gefäß, in dessen Mitte ein Thermometer herabgeht. Es muß da aller in dem Torricellischen Raume vorhandene Wasserdampf wegen der Kleinheit dieses Raumes und der Tendenz des Dampfes, darin sich ins Gleichgewicht zu setzen, die Spannkraft annehmen, welche der geringsten der an den verschiedenen Stellen des besagten Raumes herrschenden Temperaturen entspricht, und die Größe dieser Spannkraft ist wieder durch die Differenz im Quecksilberstande des Barometers a b c und eines andern gewöhnlichen Barometers gegeben, welche Differenz Gay-Lussac mittelst eines Kathetometers AB (man sehe Seite 832) und des mit a b c in dem nämlichen Quecksilbergefäße stehenden, sorgfältig ausgekochtes Quecksilber enthaltenden Barometer-Rohres a'b' ganz genau messen konnte.

Fig. 730.



Zur Bestimmung der Spannkräfte bei höheren Temperaturen als 100° C., — wozu sich der in Figur 729 abgebildete Apparat deswegen ebenfalls nicht eignet, weil die Quecksilberoberfläche c, welche bei 100° C. schon mit dem äußeren Quecksilber im Gefäße A in gleiches Niveau fällt, bei über 100° C. gehender Temperatur unter dieses Niveau hinabgedrückt wird und dann der Stand der besagten Oberfläche sich nicht mehr beobachten läßt, — hat Ure eine recht brauchbare Vorrichtung angegeben, welche die Fig. 731 zeigt. a b c ist eine heberförmige, bei a offene, bei c geschlossene Röhre, deren kürzerer Schenkel am verschlossenen Ende eine kleine Menge Wassers enthält, und von diesem an, bis zu gleicher Höhe im längeren Schenkel b a ist die Röhre mit wohl ausgekochtem Quecksilber gefüllt. Dieses geschlossene Ende ist mit einem gläsernen Ballon B umgeben, welcher Oel enthält. Eine auf dem kürzeren Schenkel mittelst eines Diamantes oder eines um diesen Schenkel fest angezogenen Platindrahtes markirte Horizontallinie l l' dient zur Bezeichnung der Grenze des Raumes l c l', den man den Dampf stets einnehmen lassen will, und der längere Schenkel b a der Röhre ist nach einem Senkblei genau vertikal gestellt. Wird nun das Oel im Ballone mittelst einer darunter gestellten Weingeistlampe allmälig erhitzt, (die jedesmalige Temperatur des Oeles und des bei c enthaltenen Wassers zeigt ein sehr empfindliches Thermo-

Fig. 731.



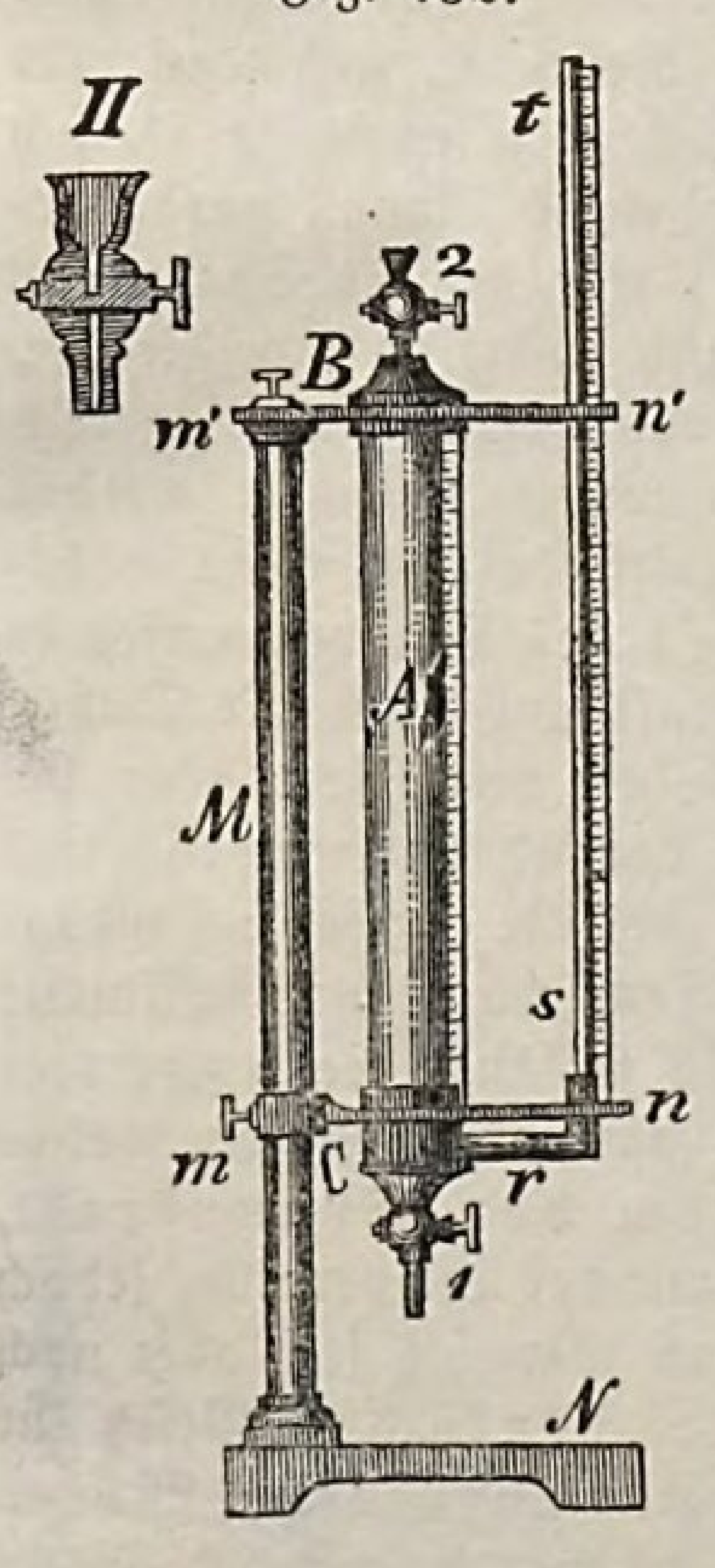
meter tt' an, dessen Kugel sich ganz nahe an der Röhre befindet) und es ist die Temperatur so weit gestiegen, daß das besagte Wasser sich in Dampf aufzulösen anfängt, was man am Steigen des Quecksilbers in ba und am Sinken desselben in bc bemerkt; so wartet man noch so lange, bis dieses Sinken etwas tiefer als zum Strich ll' gegangen ist, mäßigt dann das Lampenfeuer, so daß die Temperatur einige Augenblicke auf derselben Höhe bleibt und gießt während dem so lange Quecksilber in den längeren Röhrenschenkel, bis der gebildete Wasserdampf durch diese Vermehrung des auf ihm lastenden Druckes genau an die Linie ll', also in den Raum lcl' zurückgedrängt worden. Ist dies geschehen, so markirt man auf dem Röhrenschenkel ba den Punkt, z. B. H, wo die Quecksilbersäule darin endigt, mißt hierauf den Abstand des Punktes H von dem mit der Linie ll' in gleichem Niveau liegenden, auf der Röhre markirten Punkt J (am besten wieder mittelst des Kathetometers), addirt zu diesen Abstand den im nämlichen Augenblicke in der Umgebung stattfindenden Barometerstand (die Höhe der Quecksilbersäule, in einem gewöhnlichen guten, an dem Orte, wo das Experiment gemacht wird, vorhandenen Barometers); so hat man den Totaldruck, dem der Dampf bei der Temperatur, die das Thermometer tt' zeigt, durch seine Spannkraft das Gegengewicht hält, mithin die Größe dieser Spannkraft selbst.

377. Gesetze der Verdampfung im luftleeren Raume. Durch die beschriebenen und andere derartige Untersuchungen, worunter vorzüglich die in neuester Zeit von Magnus und bald nachher von Regnault unternommenen die genauesten sind, wurden nun nachstehende Resultate gefunden: Es kann nicht nur bei jeder Temperatur über, sondern auch weit unter 0° C. sich Wasserdampf bilden, (also auch Eis verdampft) und derselbe kann, vorausgesetzt, daß Wasser im Ueberschusse vorhanden ist . . . (1) eine gewisse Spannkraft erlangen, die nur von der Temperatur abhängig ist, und nicht, so wie die Expansivkraft eines Gases, durch Verminderung des Volums oder durch Hinzutritt einer neuen Menge bei unverändert bleibendem Volum weiter gesteigert werden kann; denn wie das eine oder das andere stattfindet, wird dadurch keine Erhöhung der Spannkraft bewirkt, sondern es geht ein Theil des Wasserdampfes in tropfbares Wasser über und der Rest behält die Spannkraft und auch die Dichte, welche er vorher hatte. Eben so wird, wenn man das Volum vergrößert, oder, bei unverändert bleibendem Volum einen Theil des Dampfes daraus entfernt, sich aus dem überschüssigen Wasser so lange neuer Dampf bilden, bis die vorher bestandene Spannkraft wieder hergestellt ist. Es gibt daher für jede Temperatur eine bestimmte größte Spannkraft und Dichte des Wasserdampfes, welche, so lange die Temperatur die nämliche bleibt, ebenfalls unveränderlich ist, und man sagt von Dämpfen, welche diese größte Spannkraft besitzen, sie seien im Maximum der Spannkraft, oder auch sie seien gesättigt. Dieses Maximum wächst mit der Temperatur, jedoch in einem ungleich größeren Verhältnisse als letztere. Man war bis jetzt aber noch nicht im Stande, ein mit der Erfahrung genau stimmendes einfaches Gesetz für diesen Zusammenhang zwischen Spannkraft und Temperatur aufzufinden. Werden Dämpfe, die nicht so, wie es oben unter (1) vorausgesetzt wurde, mit Wasser in Berührung stehen, erwärmt, so dehnen sie sich, wenn sie unter einem constanten äußeren Drucke stehen, ganz so wie Gase (für je 1° C. um 0·003665 des Volums bei 0° C.) aus, und wenn sie (wegen Unveränderlichkeit des Raumes, in dem sie eingeschlossen sind) sich nicht ausdehnen können, so nehmen sie um eben so viel, als im vorigen Falle an Volum, jetzt an Spannkraft zu. Werden sie hingegen abgekühlt, so ziehen sie sich, immer ausdehnsam bleibend, zusammen, bis ihre Spannkraft für die Temperatur, zu welcher sie abgekühlt wurden, gerade das Maximum ist; bei jeder weitern Abkühlung geht, wie in dem Falle, wo die

Dämpfe mit Wasser in Berührung stehen, sogleich ein Theil in Wasser über. So lange die Wasserdämpfe sich nicht im Maximum ihrer Spannkraft befinden, fügen auch sie sich dem Mariott'schen Gesetze (**129**). Die Tabellen **XXIII A**, **B** und **C** am Schlusse des Buches enthalten die Maxima der Spannkraft des Wasserdunstes für die Temperaturen von — 32° bis 265°·064 **C**. Die von Regnault herrührende Tabelle **C** wurde durch Untersuchungen erhalten, welche unter allen bisher zu gleichem Zwecke unternommenen das meiste Vertrauen verdienen. Zur verständlichen Auseinandersetzung des Verfahrens dabei, welches man in Poggendorff's Annalen, Ergänzungsband von 1848, S. 119 findet, mangelt hier der Raum.

378. Verdampfen des Wassers in der Luft oder in andern Gasen. Wasser verdampft in der atmosphärischen Luft (und was nun von dieser gesagt werden wird, gilt, der Hauptsache nach, auch von allen andern Gasen) so gut, wie im leeren Raume. Der in der Luft gebildete oder zu ihr hinzugebrachte Wasserdampf vermengt sich mit derselben, wie ein Gas mit einem andern nicht chemisch verwandten (**139**), gleichförmig, so daß die Spannkraft des Gemenges der Summe der Spannkräfte der Gemengtheile gleich ist, mithin der in der Luft entstehende Wasserdampf daselbst ganz mit der nämlichen Spannkraft auftritt, die er im leeren Raume bei derselben Temperatur besitzt. Die Wahrheit des letzteren sehr wichtigen Satzes läßt sich leicht auf folgende Weise, mit Hilfe des in Fig. 732 abgebildeten Gay-Lussac'schen Apparates, beweisen. **A** ist ein etwa

Fig. 732.



1″ weites, graduirtes (in gleiche Volumtheile getheiltes) Glasrohr, das oben und unten mit Fassung **B**, **C** und Hahn 1, 2 von Stahl oder Eisen versehen ist. Am untern Ende communicirt es mit einer engeren, oben offenen Glasröhre **s t**, welche in einem von der untern Fassung ausgehenden, am Ende aufwärts gebogenen hohlen Arm r (gleichfalls von Stahl oder Eisen) in zu **A** paralleler Stellung eingekittet ist. Der obere Hahn **2**, der sich auch abschrauben läßt, ist nicht ganz durchbohrt, sondern enthält nur eine etwa bis auf die Hälfte seiner Dicke hineingehende Vertiefung, wie man dies in der separaten Abbildung dieses Hahnes bei **II** deutlich sieht. Das Ganze befindet sich in vertikalem Stande auf einem Gestelle **M N**, wo es von den Armen m n und m′n′ getragen wird. Um nun den oben erwähnten Beweis herzustellen, schraubt man den Hahn 2 ab, treibt einen trockenen Luftstrom durch den Apparat oder trocknet die Luft in demselben durch Erwärmung aus, und füllt dann durch die Oeffnung des abgeschraubten Hahnes oder durch die Röhre **s t** das Rohr gerade halb voll mit trockenem Quecksilber. Schraubt man jetzt den Hahn **2** wieder luftdicht in die Fassung **B** ein, so steht das Quecksilber in beiden Röhren **A** und **s t** gleich hoch. Sollte dieser gleich hohe Stand nicht stattfinden, so kann man ihn durch Zugießen von neuem Quecksilber durch die Röhre **s t**, oder durch Ablassen eines entsprechenden Theils des im Apparate bereits enthaltenen mittelst des Hahnes **1** leicht herstellen. Ist dies erzielt, so steht die in **A** über dem Quecksilber abgesperrte Luft offenbar unter dem Drucke der äußeren Atmosphäre. Nun wird durch den über dem Hahne **2** befindlichen Trichter (**II**) die vorerwähnte Vertiefung in diesem Hahne mit Wasser gefüllt, derselbe hierauf um 180° gedreht, wo dann das eingefüllte Wasser in der Menge

eines großen Tropfens in den Luft enthaltenden Raum von **A** fällt, ohne daß daraus Luft entweichen kann. Hat man dieses Verfahren mit dem Hahne einige Male wiederholt und so mehrere Tropfen in das Rohr **A** hineingebracht, so werden sich alsbald Dämpfe bilden und man wird zu Folge ihrer Spannkraft das Quecksilber in **A** sinken, in **st** hingegen steigen sehen. Gießt man nun durch die Röhre **st** von neuem Quecksilber ein, so kann man es leicht dahin bringen, daß die Luft sammt dem Wasserdampfe, so wie vorhin die Luft allein, gerade wieder die Hälfte des inneren Raumes von **A** einnehmen. Es ist dann offenbar die Länge der Säule, um welche jetzt das Quecksilber in **st** höher steht als in **A**, das Maß der Spannkraft des vorhandenen Wasserdunstes: denn die Luft befindet sich, da sie ihr ursprüngliches Volum hat, wieder mit dem Drucke der äußeren Atmosphäre im Gleichgewichte und die besagte Säule, die in **st** über dem Niveau des Quecksilbers in **A** steht, kann nur allein durch die Spannkraft des Wasserdampfes getragen werden. Mißt man die Länge dieser Säule, so zeigt sie sich genau jener gleich, welche (nach Tabelle **XXIII**) das Maß der größten Spannkraft darstellt, die der Wasserdunst im luftleeren Raume bei der nämlichen Temperatur hat, bei welcher das eben beschriebene Experiment angestellt wurde *). Es bildet sich daher bei einer bestimmten Temperatur im mit Luft erfüllten Raume Wasserdampf von derselben Menge und Spannkraft, als bei der nämlichen Temperatur in einem eben so großen, aber leeren Raume entstehen kann; nur geht im ersteren Falle die Dampfbildung langsamer vor sich, weil die Luft dem in ihre Zwischenräume eindringen wollenden Dampfe, so wie ein Gas einem andern damit sich mengenden, ein mechanisches Hinderniß entgegenstellt, welches natürlich mit der Dichte der Luft abnimmt (**139**).

379. Verdampfung anderer Flüssigkeiten als Wasser und in anderen Gasen als atmosphärische Luft. Sie geht in der Hauptsache nach denselben Gesetzen vor sich, wie jene des Wassers in der atmosphärischen Luft, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man bei den in **378** beschriebenen Versuchen anstatt des Wassers einen andern tropfbaren Körper und anstatt der Luft als Dampfbildungsatmosphäre ein anderes Gas anwendet. Ein Unterschied bei der Verdampfung der andern tropfbaren Flüssigkeiten zeigt sich immer in der den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Spannkraft,

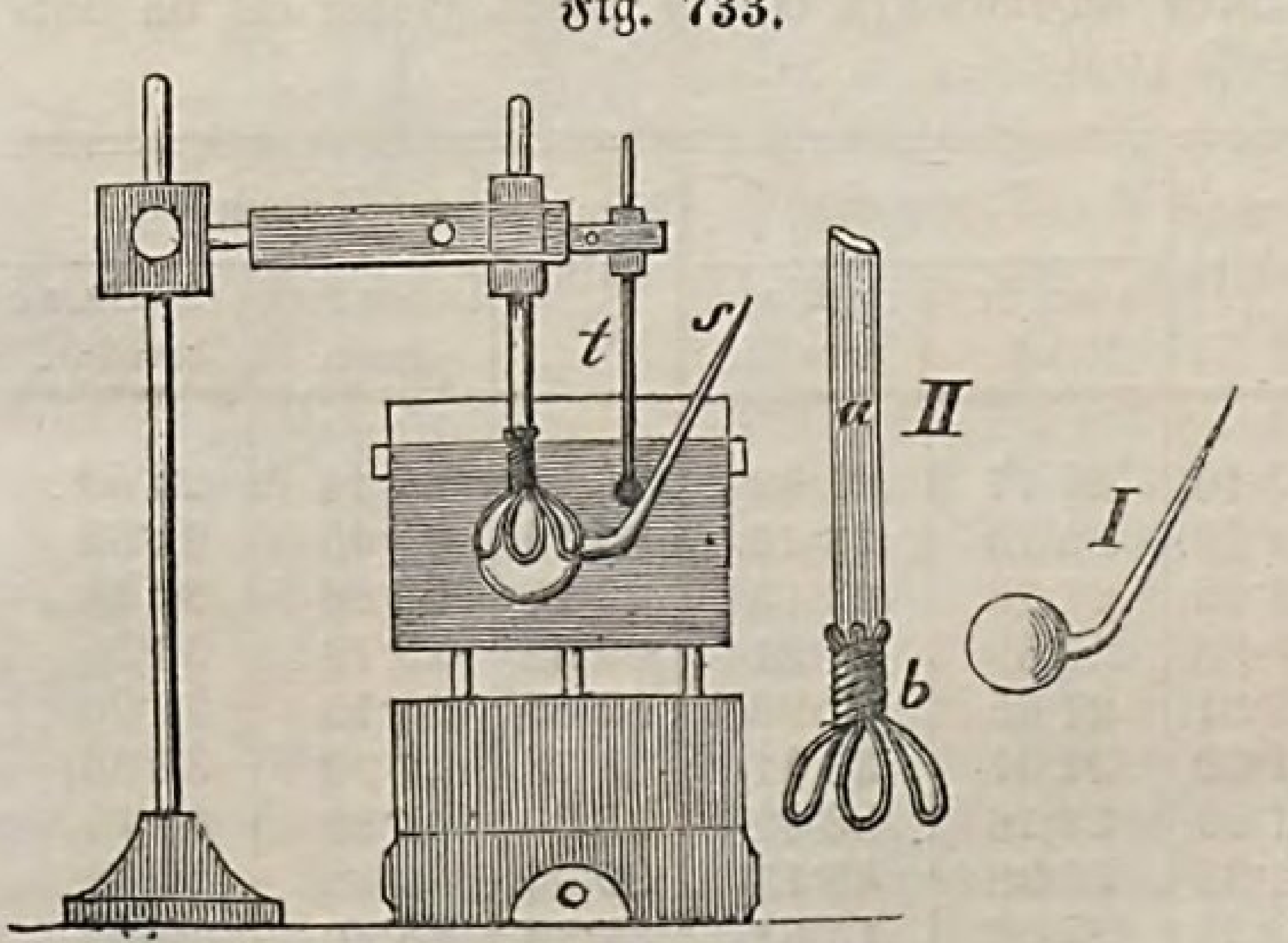
*) Nach Regnault (Compt. rend. Tom. XX., pag. 1127) ist die Spannkraft des Dampfes unter sonst gleichen Umständen im luftleeren Raume etwas größer als im lufterfüllten, wie die folgende Tabelle zeigt:

Temperatur C°.	Spannung		Temperatur C°.	Spannung		Temperatur C°.	Spannung	
	in der Luft beob.	im Vacuo berechn.		in der Luft beob.	im Vacuo berechn.		in der Luft beob.	im Vacuo berechn.
0·00	4·47	4·60	23·10	20 77	21·02	25·72	24·14	24·59
12·48	10·08	10·77	24·69	22·70	23·13	25·74	24·05	24·62
12·59	10·31	10·85	24·69	22·73	23·13	29·28	29·66	30 28
14·57	11·83	12·36	27·88	27·59	27·91	29·32	29·79	30·35
14·60	11·91	12·39	27·91	27·65	27·96	32·80	36·45	37·00
15.00	12·38	12·70	31·00	32·97	33·41	32·78	36·39	36·96
15·05	12·64	12·74	31·00	33·16	33·41	35·97	43·39	44·13
18·24	15·32	15·59	34·25	39·98	40·13	35·95	43 48	44·08
18·23	15·48	15 58	18·26	15·06	15·61	37·96	48·70	49·20
21·00	18·27	18·49	22·12	19·07	19·81	38·00	48·70	49·30
21 07	18·28	18·58	18·22	15·04	15·57			
23·15	20·74	20·08	22·15	19·15	19·84			

welche für dieselbe Temperatur bei Dämpfen aus verschiedenen tropfbaren Flüssigkeiten verschieden groß und zwar desto größer ist, bei einer je geringeren Temperatur die Flüssigkeit siedet; ferner in der Schnelligkeit der Verdampfung, welche im Allgemeinen um so rascher vor sich geht, je größer bei der herrschenden Temperatur das Maximum der Spannkraft der sich bildenden Dämpfe ist . . . (†). So haben die bei den gewöhnlichen Lufttemperaturen sich bildenden Quecksilberdämpfe so äußerst geringe Spannkräfte, daß sie im Barometer, wo deren in der Torricelli'schen Leere immer vorhanden sind, keine merkliche Depression bewirken; selbst bei **100° C.** beträgt die größte Spannkraft des Quecksilberdampfes nur 0·012 Wiener Linien, während jene des Wasserdampfes dem Drucke einer ganzen Atmosphäre gleich ist. Nach (†) begreift man unter Rücksicht darauf, daß mit der Temperatur das Maximum der Spannkraft wächst, warum eine Temperaturerhöhung die Verdampfung aller Flüssigkeiten beschleunigt. Verzögert wird die Verdampfung eines Körpers in dem Maße, als der Raum um ihn her schon mehr von seinem Dampfe enthält . . . (††).

380. Bestimmung des spezifischen Gewichtes und der Dichte der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten. Es ist, insbesondere für praktische Zwecke, z. B. für die Anwendung der Spannkraft des Dampfes als bewegende Kraft (bei den Dampfmaschinen), von größter Wichtigkeit, zu wissen, in welchem Verhältnisse der Rauminhalt des Dampfes zu dem Rauminhalte der Flüssigkeitsmenge, welche in denselben verwandelt worden oder zu deren Gewicht, (das zugleich auch sein eigenes ist), steht, was man durch die Dichte oder das spezifische Gewicht des Dampfes erfährt. Ein ganz entsprechendes, einfaches und deswegen jetzt fast ausschließlich, insbesondere auch in der Chemie, allgemein angewendetes Verfahren bei Bestimmung der besagten Dichte ist das folgende von Schmidt angegebene, von Dumas vervollkommnte und zur eigentlichen Ausführung gebrachte Verfahren. Man nimmt eine Glaskugel von 300—500 Kubik-Centimeter Rauminhalt, die in eine etwa 6″ lange enge Röhre auslauft, (die am leichtesten dadurch erhalten wird, daß man den Hals eines Gasballons von der angegebenen Größe zunächst an der Kugel zu der besagten engen Röhre auszieht), und biegt die Röhre in der Art, wie es in Fig. 733 bei **I** zu sehen ist. Hierauf bringt man in die Kugel eine hinreichende Quantität (höchstens 10 Gramme) der Flüssigkeit, um deren Dampfdichte es sich handelt, (indem man nämlich die Luft darin durch Erwärmung verdünnt, und dann die Spitze der Röhre in die betreffende Flüssigkeit taucht), befestigt die Kugel in dem bei **II** (Fig. 733) für sich

Fig. 733.



abgebildeten, aus einem Glasstabe **a** und aus Draht **b** verfertigten Halter, bringt sie nachher auf die in der Figur ersichtliche Weise in ein Bad, und erwärmt sie darin langsam und gleichmäßig mindestens 30° über die Temperatur, bei welcher die in ihr enthaltene, in Dampf zu verwandelnde Substanz siedet. Man muß daher das Bad, dieser Temperatur entsprechend wählen, und erreicht für alle Fälle entweder mit Wasser, Oelen, Chlorzinklösung, concentrirter Schwefelsäure oder leicht schmelzenden Metallgemischen seinen Zweck. Während die Temperatur des Bades einige Zeit unterhalten wird, (und zur

Beurtheilung dessen dient das Thermometer t) verwandelt sich die Flüssigkeit in der Kugel in Dämpfe, die aus der über das Bad emporstehenden Spitze s mächtig herausströmen und alle in Röhre und Kugel enthaltene Luft mit sich fortreißen. Sobald alle Flüssigkeit in der Kugel in Dampf verwandelt ist und das Ausströmen des Dampfes aus der feinen Spitze s völlig aufgehört hat, zum Beweis, daß die Spannkraft des in der Kugel noch vorhandenen Dampfes mit der äußeren, in der Luft herrschenden Expansivkraft ins Gleichgewicht getreten ist, schmelzt man die Spitze s mittelst des Löthrohres rasch zu und notirt den Barometerstand (b) und die Temperatur (t) des Bades, wie sie eben in diesem Augenblicke stattfinden. Nun wird der Ballon aus dem Bade genommen, wohl gereinigt und abgetrocknet, zur Lufttemperatur abkühlen gelassen und jetzt möglichst genau sein Gewicht bestimmt, welches $= Q$ gefunden worden sein soll. Kennt man das Gewicht (P) des leeren Ballons sammt der Röhre, und den inneren Rauminhalt V beider*); so ist offenbar $Q - P$ das Gewicht des im Ballone enthaltenen Dampfes und mithin gemäß (**134**) $\frac{Q - P}{V}$ dessen spezifisches Gewicht beim Barometerstande b und bei der Temperatur t, und es ist nun die Bestimmung der Dichte, welche dieser Dampf bei dem besagten Thermometer- und Barometerstande (t und b) besitzt, aus dem eben angeführten Absatze **134** (auf S. 274 und 277) für sich begreiflich; in der Tabelle **VII C.** am Schlusse des Buches findet man die spez. Gewichte der Dämpfe mehrerer Flüssigkeiten. Die dem Buche angehängte Tabelle **XXIV** enthält die Dichte des Wasserdampfes für verschiedene Temperaturen, die Dichte des Wassers bei 0^0 C. $= 1$ gesetzt. Es läßt sich nämlich, wenn die Dichte des Wasserdampfes in Bezug auf trockene Luft von 0^0 C. und unter 760 Millimeter Druck bekannt ist, da letztere bei dem eben besagten Thermo- und Barometerstande 770 Mal weniger wiegt als Wasser von 0^0 C., die Dichte des Wasserdampfes in Bezug auf letzteres, wie von selbst erhellet, leicht berechnen. Nach Schmedding's sorgfältigen Untersuchungen nimmt die Dichte des Wasserdampfes in der Luft bei der Sättigung mit der Temperatur auf sehr merkliche Weise (zwischen 13^0 und 44^0 C. von 0·616 bis 0·652) zu.

381. Das Sieden und Verdunsten. Die Flüssigkeiten verdampfen bei allen Temperaturen unter jener, bei welcher sie sieden, nur an ihrer Oberfläche, und man nennt dieses Verdampfen vorzugsweise verdunsten. Bei dem allgemein bekannten Phänomene des gerade erwähnten Siedens oder Kochens hingegen bilden sich auch unter der Oberfläche, im Innern der Flüssigkeitsmasse, Dämpfe und diese eben sind es, welche, indem sie in Gestalt von Gasblasen durch die Flüssigkeit emporsteigen und an der Oberfläche in die Luft austreten, jene aufwallende Bewegung der Flüssigkeit hervorbringen, wodurch die

*) Das Gewicht des Ballons und der Röhre daran kann leicht erhalten werden, wenn man beide ganz mit Quecksilber anfüllt (wobei wie bei Füllung eines Quecksilberthermometers zu verfahren ist), dann genau wägt und von dem so gefundenen Gewichte (p) das Gewicht (q) des eingefüllten Quecksilbers subtrahirt. Dieses Gewicht (q) aber wird dadurch ermittelt, daß man das Quecksilberquantum, in welches zum Behuf der erwähnten Füllung die Röhrenspitze s eingetaucht wird, vor diesem Eintauchen genau wägt, eine solche Wägung auch mit dem nach erfolgter Füllung der Kugel und Röhre bleibenden Reste dieses Quecksilbers vornimmt und das Ergebniß der letzteren Wägung von jenem der ersteren abzieht; natürlich muß dafür gesorgt worden sein, daß während dieses Füllens und Wägens nicht das mindeste verloren gegangen, (von dem ganzen in Anwendung genommenen Quecksilber, außer dem in die Kugel und Röhre eingefüllten Quantum nichts weggekommen) ist. Das gefundene Gewicht q durch das spezifische Gewicht des Quecksilbers dividirt, gibt das Volum des eingefüllten Quecksilberkörpers, mithin auch den inneren Rauminhalt der Kugel sammt Röhre.

Erscheinung des Siedens oder Kochens charakterisirt ist *). Da die hierbei entstehenden Dämpfe nicht, so wie die an der Oberfläche sich bildenden, bloß das mechanische Hinderniß der atmosphärischen Luft, sondern auch den Druck der Flüssigkeitsschichte, unter welcher sie entstehen, und überdieß noch den ganzen auf der Flüssigkeitsoberfläche lastenden Druck überwinden müssen, wozu sie eine bestimmte Größe der Spannkraft nöthig haben, die sie wieder erst bei einer gehörig hohen Temperatur erreichen (**377**); so sieht man ein, daß es zum Sieden einer jeden tropfbaren Flüssigkeit einer Temperatur derselben von hinreichender Höhe bedürfe, daß diese Temperatur, gewöhnlich Siedpunkt genannt, von der Natur und materiellen Beschaffenheit der zum Sieden zu bringenden Flüssigkeit (**377**)...(1), von dem auf der Oberfläche der letzteren lastenden Drucke... (2), endlich von der Tiefe der Flüssigkeitsschichte, unter welcher die Dämpfe sich bilden... (3), abhängen, und sowohl mit diesem Drucke als mit dieser Tiefe wachsen müsse. Die Tabelle **XXI** am Schlusse des Buches enthält die Siedpunkte mehrerer Flüssigkeiten und die Tabelle **XXV** die Siedpunkte des Wassers unter verschiedenem Luftdrucke (an Orten verschiedener Höhe über der Meeresfläche). Uebrigens wird der Siedpunkt einer Flüssigkeit durch chemische Verbindung mit einer andern, die erst bei einer höheren Temperatur siedet, erhöht. Alle wässerigen Salzlösungen haben einen höheren Siedpunkt als das Wasser allein (weil die Cohäsion, die zwischen Wasser und Salz größer ist, als zwischen den Theilen des Wassers selbst, zur Ueberwindung eine höhere Temperatur erfordert); aber die Dämpfe, die beim Sieden dieser Lösungen sich entwickeln, haben die nämliche Temperatur und Spannkraft, wie die aus reinem kochenden Wasser sich bildenden, vorausgesetzt, daß sie reine Wasserdämpfe sind. Wird beim Sieden ein Bestandtheil der siedenden Substanz verflüchtigt, so ändert sich natürlich auch ihr Siedpunkt, wie dies bei Gemischen von Flüssigkeiten in der Regel der Fall ist. Die Temperatur des Siedens hängt auch von dem Gefäße ab, worin das Sieden vor sich geht. Beim Sieden von Wasser in Glas kann, nach Marcet, die Siedtemperatur zwischen 100°·2 und 102° C. schwanken.

Gemäß (1) braucht z. B. Schwefelsäure zum Sieden eine höhere Temperatur als Oel, dieses eine höhere Temperatur als Wasser ꝛc. ꝛc. und Wasser hat je nach der Beschaffenheit und Menge darin aufgelöster Salze oder anderer Körper einen andern Siedpunkt. Nach (2) finden sehr viele wichtige Phänomene ihre Erklärung, z. B. folgende: In verdünnter Luft, unter dem Recipienten der Luftpumpe oder auf höheren Bergen, siedet z. B. Wasser bei einer geringeren Temperatur, als in unter gewöhnlichem Drucke stehender Luft, und im Wasserhammer wird Wasser, im Pulshammer Weingeist schon durch die bloße Wärme der Hand zum Sieden gebracht.

---

*) Das nähere Detail der Erscheinung des Siedens ist folgendes: Wird, wie es gewöhnlich der Fall ist, die Flüssigkeit, die zum Sieden kommen soll, von unten her erwärmt, so macht sich zuerst die in der Flüssigkeit enthaltene Luft von derselben los und erscheint in kleinen Bläschen, die in der Flüssigkeit aufsteigen, nachdem sie zum Theil vorher an die Wände des Gefäßes sich angesetzt, daran gehaftet und allmälig immer mehr vergrößert hatten. Diese Bläschenentwicklung hört endlich auf, beginnt jedoch nach einiger Zeit und um so lebhafter von neuem; die nun erscheinenden Bläschen sind aber keine Luftbläschen mehr, sondern sind Dampfbläschen, welche anfangs in den höheren, noch nicht hinreichend erhitzten Flüssigkeitsschichten, indem sie dort condensirt (in den tropfbaren Zustand zurück geführt) werden, wieder verschwinden und dabei das bekannte, dem eigentlichen Aufwallen der Flüssigkeit vorausgehende Geräusch verursachen, zugleich auch die oberen Flüssigkeitsschichten erwärmen. Ist endlich die ganze Flüssigkeitsmasse zum gehörigen Grade erwärmt; so steigen die Dampfbläschen bis an die Oberfläche und bringen die Flüssigkeit in das eben erwähnte Aufwallen. Flüssigkeiten, die sich in der Hitze mit einer Haut überziehen, wie z. B. Milch, blähen sich beim Sieden auf, weil die aus dem Innern kommenden Dämpfe diese Haut nicht gleich zu durchbrechen vermögen.

Der Wasserhammer (Fig. 734) besteht aus einer etwa 3/4" weiten, 6—8" langen Glasröhre a mit einer Kugel b, die durch eine enge Röhre c davon gesondert ist. a ist 1/3 oder 1/4 mit Wasser gefüllt, der übrige innere Raum ist vollkommen luftleer. Bei Verfertigung dieser Vorrichtung wird die an a angeblasene Kugel b bei d in eine feine Spitze ausgezogen, durch diese der Apparat bis etwa zur Hälfte mit reinem Wasser gefüllt und dieses lange genug im heftigen Kochen erhalten, um auch die letzten Antheile Luft daraus zu entfernen. Mitten im Kochen, nachdem etwa die Hälfte des Wassers verdampft ist, verschließt man schnell die Spitze mit Siegellack, entfernt das Feuer, um das Zerspringen des Apparates zu verhüten, läßt diesen erkalten und schmilzt nachher die Spitze unterhalb des Siegellackverschlusses vor der Glasblaserlampe zu. Läßt man nun den größten Theil des Wassers in die Kugel fließen, so daß der enge Gang c aus derselben in die Röhre eben verschlossen ist, und erwärmt jetzt die Röhre a am zweiten Ende mit der Hand; so sieht man unter Wahrnehmung eines den Stößen beim Sieden ähnlichen Geräusches fortwährend reichliche Dampfblasen aus der Röhre in die Kugel dringen. — Der Pulshammer (Fig. 735) ist eine 5—6" lange, an den rechtwinklig aufgebogenen Enden mit Kugeln von 1 — 1·5" Durchmesser versehene Röhre. Die ganze Vorrichtung enthält so viel gefärbten Weingeist, daß die Gesammtmenge desselben eine der Kugeln nicht völlig auszufüllen vermag, und der übrige innere Raum ist vollkommen luftleer gemacht, was dadurch geschehen kann, daß die Spitze, in welche ursprünglich die eine Kugel ausgezogen war, und durch die der Weingeist eingefüllt wurde, ganz in der nämlichen Weise, wie am Wasserhammer, zugeschmolzen wird, nachdem man den Weingeist einige Zeit hindurch im lebhaften Sieden erhalten hat. Nimmt man nun eine Kugel des Pulshammers in die Hand, dieselbe ganz umschließend und beide Kugeln nach aufwärts haltend; so wird aller Weingeist durch die daraus zu Folge der Handwärme rasch sich bildenden Dämpfe in die freie Kugel getrieben und beginnt darin heftig zu wallen.

Fig. 734.

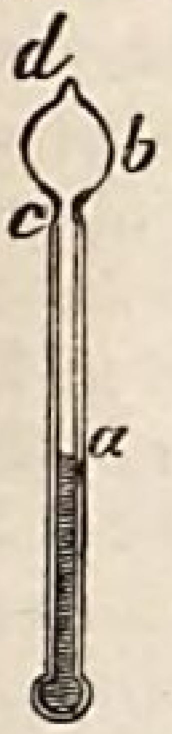
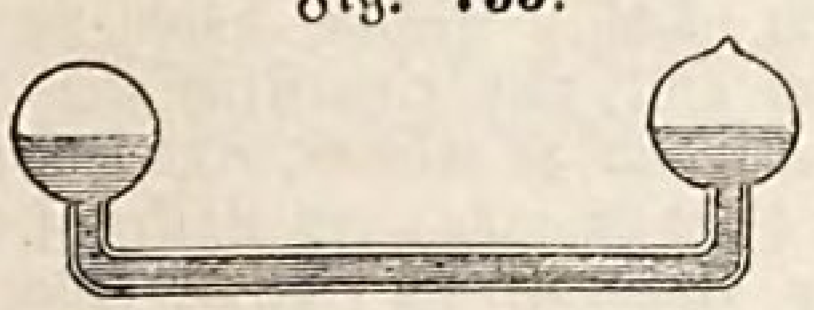
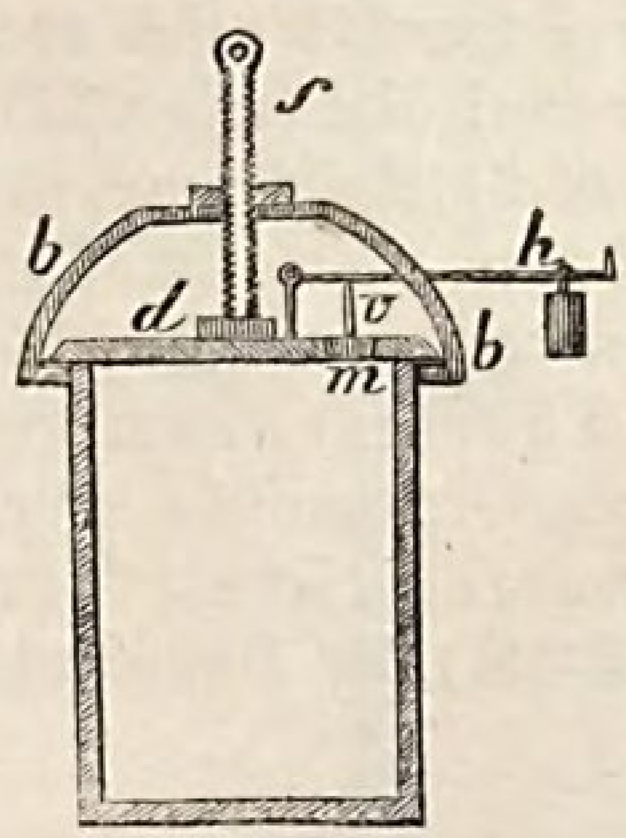


Fig. 735.



Im Papin'schen Topfe oder Digestor (d. i. ein starkes Metallgefäß, Fig. 736, welches sich durch einen Deckel, z. B. auf die in der Figur dargestellte Weise, nämlich mittelst eines unter den obern Gefäßrand greifenden Bügels b b und einer an den Deckel d sich andrückenden Schraube s luftdicht und fest verschließen läßt und im Deckel ein Sicherheitsventil v hat*), um den zu sehr gespannten Dämpfen einen Ausweg zu gestatten und so dem Zerspringen des Topfes vorzubeugen) kann das Wasser ohne zu sieden auf hohe Temperaturen (200° C. und darüber) gebracht werden, weil die aus demselben sich bildenden Dämpfe, da sie nicht entweichen können, durch ihre Spannkraft den Druck der Atmosphäre (der eingeschlossenen mit gleicher Expansivkraft, wie die äußere wirkenden Luft) auf die Flüssigkeitsoberfläche vermehren. Aus dem nämlichen Grunde hört Wasser, welches in einem Gefäße siedet, sogleich zu sieden auf, wenn man das Gefäß während des Siedens luftdicht verschließt. Werden dann die im verschlossenen Gefäße über dem Wasser angehäuften Dämpfe wenigstens zum Theile, z. B. durch Abkühlung, condensirt (also

Fig. 736.



*) Ein Sicherheitsventil ist gewöhnlich ein konischer Metallzapfen m, der mittelst eines aufliegenden Gewichtes, oder durch einen über ihn hingehenden, belasteten Hebel h in eine konische Bohrung hineingedrückt wird, und diese Bohrung so lange luftdicht verschließt, bis ein von unten nach oben auf ihn einwirkender Druck jenen des besagten Gewichtes oder Hebels überwiegt, wo dann der Zapfen gehoben und die Bohrung mehr oder weniger geöffnet wird. Die Stelle des konischen Zapfens vertritt sehr oft eine ebene Metallplatte, die an den gleichfalls wohl geebneten Rand des Bohrloches angedrückt wird und bei welcher durch einen von ihr aus- und in die Bohrung hinabgehenden, dieselbe aber nicht ausfüllenden Vorsprung dafür gesorgt ist, daß sie sich nicht seitwärts abschieben lasse.

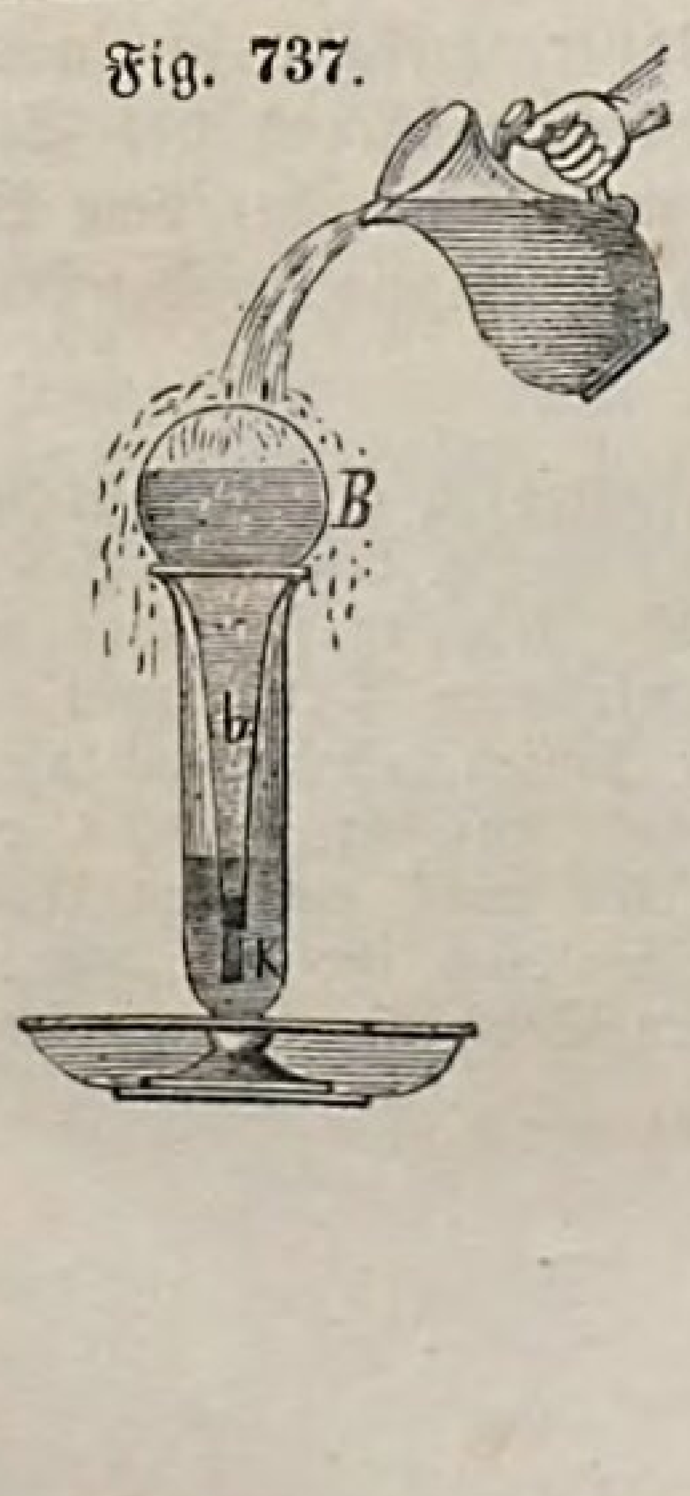
weggeschafft, so fängt das Wasser, wenn es auch nicht mehr erhitzt wird, von neuem zu sieden an *).

Im siedenden Wasser ist die Temperatur von den obern nach den untern Schichten hin immer höher (man sehe S. 840), weil in den untern Schichten die Dämpfe, damit sie sich entwickeln können, des größeren, auf diesen Schichten lastenden Druckes wegen, einer größeren Spannkraft bedürfen, die sie erst bei einer höheren Temperatur erlangen, während die an der Oberfläche des siedenden Wassers entstehenden Dämpfe nur den Druck der Atmosphäre zu überwältigen, daher immer eine diesem Drucke gleiche Spannkraft haben, welche auch die aus der Tiefe an die Oberfläche aufsteigenden Dämpfe daselbst annehmen, so daß die an der Oberfläche austretenden Dämpfe immer die nämliche Temperatur besitzen, wie die oberste Schichte der siedenden Flüssigkeit, und ihre Spannkraft dem eben herrschenden Luftdrucke (dem Barometerstande) gleich ist . . . . (178)

In manchen Gewerben wird das zum Behufe raschen Abdampfens gewisser Flüssigkeiten im Sieden Erhalten derselben unter vermindertem Luftdrucke bewerkstelliget, weil das Sieden da bei geringerer Temperatur (die, wie wir in einem nächsten Absatze hören werden, so lange das Sieden währt, nicht steigen kann) vor sich geht, und diese Flüssigkeiten, ohne in ihrer Wesenheit, oder in Farbe, Geschmack u. s. w. verändert zu werden, eine höhere Temperatur nicht vertragen. So geschieht die Concentration (Abdampfung) des Zuckersaftes bei der Zuckerfabrikation nach Howard mittelst eigener Apparate im luftverdünnten Raume, weil dieser Saft beim Einkochen unter gewöhnlichem Luftdrucke sich, unter Verwandlung eines Antheils krystallisirbaren Zuckers in Schleimzucker, stark bräunt. Die nämliche Rücksicht, wie beim Zuckersafte, muß auch bei der Eindickung der Säfte gewisser Arzneipflanzen beobachtet werden.

382. Höhenmessung mittelst des Thermometers. Da (gemäß (1)—(3) S. 881 und 882) die Siedehitze des Wassers bei sonst gleichen Umständen nur von der Größe des Luftdruckes abhängt, unter welchem das Sieden stattfindet und zwar mit demselben zu- und abnimmt, da ferner [nach (178)] die Spannkraft der aus dem siedenden Wasser frei in die Luft tretenden Dämpfe immer dem gleichzeitig herrschenden Luftdrucke gleich ist, die Größe dieser Spannkraft sich aber nach der besagten Siedhitze aus den betreffenden Tabellen der Spannkräfte (wie **XXIII** am Schlusse des Buches) ergibt; so leuchtet ein, daß man den Luftdruck an einem Orte auch aus der Hitze erfahren könne, bei welcher das Wasser an diesem Orte siedet, daß daher die Stelle des Barometers durch ein mit gewissem Zugehör versehenes Thermometer, welches dann mit Recht den Namen Thermobarometer führt, vertreten werden und man sich auch dieses Thermometers anstatt eines Barometers zum Höhenmessen bedienen könne. Dieses thermometrische Höhenmessen unterscheidet sich dann von dem barometrischen (**138**) der Hauptsache

Fig. 737.

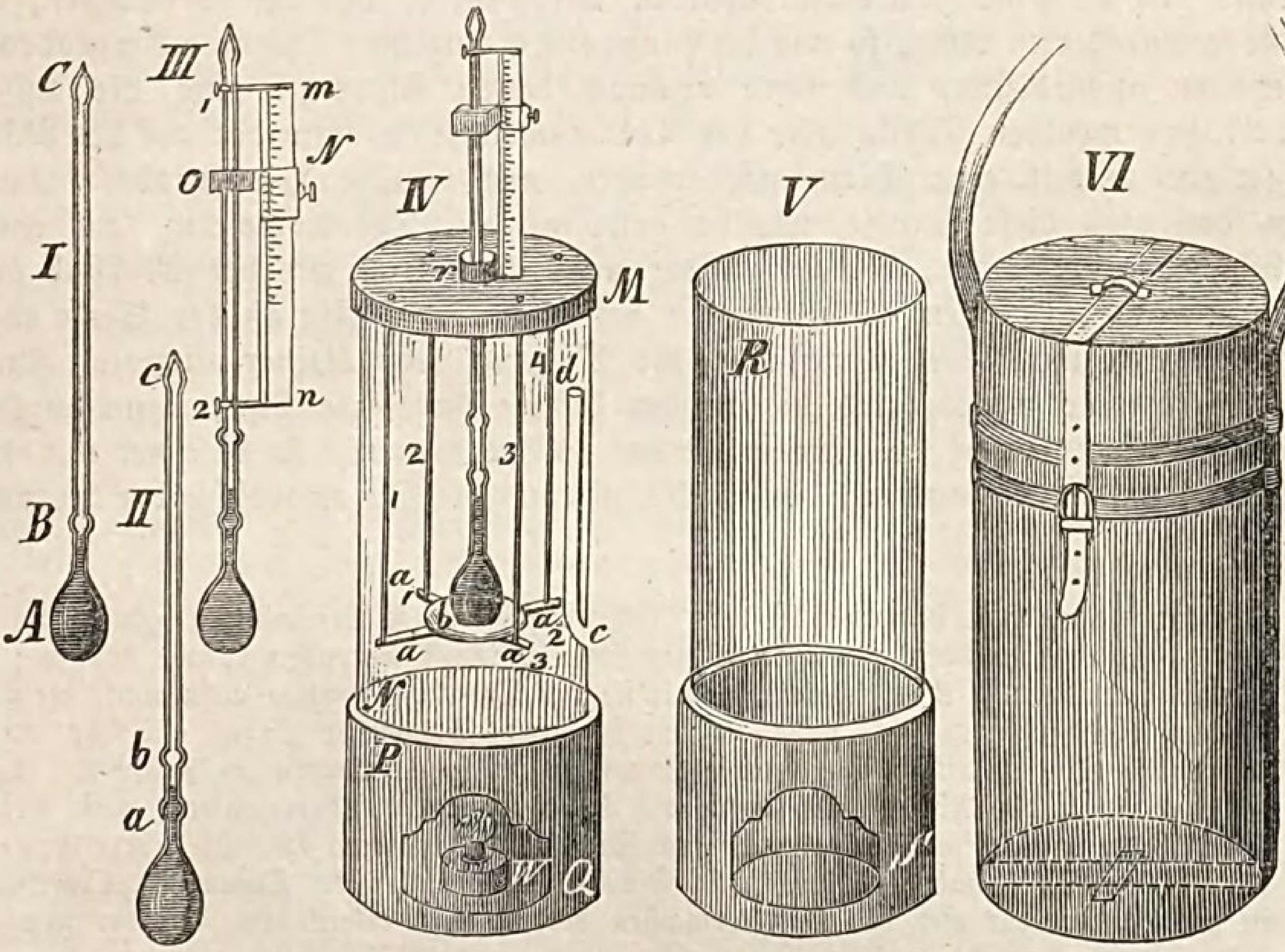


*) Um dies durch ein Experiment zu zeigen, erhalte man in einem mit langem Halse b versehenen Glasballone B (Fig. 737) mittelst einer unter letzterem angebrachten Weingeistlampe Wasser einige Zeit lang im lebhaften Kochen, verschließe dann nach Beseitigung der Lampe schnell den Hals mit einem genau passenden Korkpfropfe k, kehre hernach das Ganze um, und sperre, um den etwaigen Mangel an Luftdichtigkeit des Pfropfes unschädlich zu machen, den Hals, etwa wie in der Figur, durch Wasser ab. Gießt man nun, nachdem im Innern des Apparates völlige Ruhe eingetreten ist, kaltes Wasser auf den oberen, leer erscheinenden Theil der Kugel, so beginnt das Wasser in dieser augenblicklich wieder zu sieden, und man kann dies Experiment mehrere Male nach einander mit dem nämlichen Erfolge wiederholen.

nach offenbar nur dadurch, daß die in der betreffenden Höhenmeßformel vorkommenden Maße des an den Orten, um deren Höhenunterschied es sich handelt, herrschenden Luftdruckes, anstatt mittelst eines eigentlichen Barometers, mit Hilfe des Thermobarometers bestimmt werden. Der Gedanke und die erste Ausführung der thermometrischen Höhenmessung ging von Fahrenheit aus; nach ihm waren es Cavallo, ganz vorzüglich Wollaston und nach diesem Morstadt, R. v. Baumgartner, R. v. Mitis, Gintl und in neuester Zeit auch Regnault u. s. w., welche dieses Meßverfahren, das weit mehr Berücksichtigung verdient, als es bis jetzt gefunden hat, auf den für die wirkliche Anwendung erforderlichen Grad der Vollkommenheit brachten.

Wir wollen hier nun zuerst das Thermobarometer, auch vorzugsweise Hypsometer genannt, in der Form beschreiben, die es nach allen zu verschiedenen Zeiten erfahrenen Verbesserungen in letzter Zeit erhalten hat. Den wesentlichsten Theil dieses in Fig. **738** anschaulich gemachten Apparates bildet ein richtiges Thermometer, welches für äußerst geringe Temperaturdifferenzen empfindlich ist und dieselben deutlich und genau meßbar anzeigt. Solcher Art ist das Quecksilberthermometer von der in Fig. 735 bei **I** abgebildeten Form, welches

Fig. 738.



aus einer gewöhnlichen Thermometerröhre von sehr feinem und durchaus gleichen Kaliber besteht, die ein ½ Zoll im Durchmesser haltendes, birnförmiges Gefäß **A** angeblasen enthält und die in ½—1'' Entfernung von diesem Gefäße mit einer Erweiterung **B** versehen ist, ferner eine eben solche Erweiterung **C** auch am oberen Ende hat. Das Ganze ist mit einer entsprechenden Menge reinen, trockenen Quecksilbers gefüllt, möglichst luftleer gemacht, und oberhalb **C** zugeschmolzen *). Etwas

*) Die bedeutende Größe des birnförmigen Gefäßes **A** und die Feinheit des Kalibers der Röhre machen, daß die einzelnen Thermometergrade sehr lang ausfallen, das Thermometer also sehr empfindlich ist (ganz kleine aliquote Theile eines Grades noch deutlich anzeigt). Weil aber bei großer Länge eines Grades die Röhre, wenn sie die ganze gewöhnliche Thermometerscale enthalten sollte, übermäßig lang sein müßte und sehr ge-

oberhalb der Erweiterung **B** ist an der Röhre mittelst einer Diamantfeder (Anmerkung *) auf S. 839) eine unverlöschbare Linie einradirt, welche dazu dient, um an dem Instrumente die Länge der einzelnen Thermometergrade und den dem Normalluftdrucke von 28 Par. Zoll entsprechenden Siedpunkt, d. i. den Platz für den 100sten Grad der Celsius'schen Scale zu bestimmen, was mittelst eines kleinen Maßstabes (m n Fig. 738) bei **III**) geschieht, der in Millimeter getheilt ist, einen Nonius **N** und ein Absehen **O** (S. 235) hat, so daß man $^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ Millimeter bequem messen kann, und welcher mittelst zweier kleiner Schraubenzwingen 1, 2 an der Röhre und ihr zur Seite sich so befestigen läßt, daß sein Anfangspunkt mit der besagten einradirten Linie genau zusammenfällt. Die Auseinandersetzung des Verfahrens bei dieser Bestimmung selbst (nämlich der Länge eines Celsius'schen Grades an dem Instrumente, und der Distanz des besagten 100sten Grades vom Anfangspunkte des Maßstabes) würde hier viel zu weit führen; wir verweisen deswegen Diejenigen, welche sich davon Kenntniß verschaffen wollen, auf die Brochüre: Das Höhenmessen mit dem Thermometer, von J. W. Gintl; Wien 1835, bei Heubner, welche Schrift uns auch in vielem Andern über diesen Gegenstand hier Vorgetragenen als Leitfaden gedient hat.

Man findet durch das eben erwähnte Verfahren den Abstand des, dem Normalluftdrucke von 28 Par. Zoll entsprechenden Siedpunktes von der vorbesagten, auf der Röhre einradirten Linie, so wie die Länge eines einzelnen Thermometergrades in Millimetern ausgedrückt, und kann demnach diesen Siedpunkt und die andern erforderlichen wenigen Theilpunkte der Thermometerscale entweder auf der Röhre selbst (wieder mittelst einer Diamantfeder oder durch Einätzen), oder aber dadurch fixiren, daß man diese Punkte, wie bei gewöhnlichen Thermometern, auf einem Metallstreifen verzeichnet, der sich in der nämlichen Art, wie der Maßstab m n, mittelst Schraubenzwingen an der Röhre befestigen läßt. Ein an der Scale angebrachter Nonius mit Absehen gestattet die Messung sehr kleiner aliquoter Theile eines Thermometergrades, und die an der Röhre einradirte Linie kann zugleich zur richtigen Einstellung der Scale an der Röhre dienen, so daß der mit 100 bezeichnete Theilstrich genau mit der Stelle zusammentrifft, an welche der Normal-

---

brechlich wäre, man überdies bei dem Instrumente, seiner Bestimmung gemäß, immer nur die dem Siedpunkte der Thermometerscale zunächst liegenden Grade braucht; so ist die Erweiterung B vorhanden, damit sie die Quecksilbermenge aufnimmt, die sonst bei den Temperaturen bis nahe an den besagten Siedpunkt hinauf ein sehr langes Stück der Thermometerröhre einnehmen würde, und das Quecksilber daher erst dann oberhalb B in die Röhre tritt, wenn die Temperatur des Thermometers nur wenige (8 bis 10) Grade mehr von jener des Siedpunktes entfernt ist. Die obere Erweiterung C hingegen hat den Zweck, die Einfüllung der großen Quantität Quecksilber in das Instrument und das Luftleermachen desselben zu erleichtern. Bei der gewöhnlichen Lufttemperatur erscheint das Gefäß A, das Röhrenstück zwischen A und B ganz und die Erweiterung B zum Theil voll Quecksilber. Es ist vortheilhaft, anstatt der Erweiterung B zwei kleinere, zusammen ihr an Rauminhalt gleiche und durch eine kurze Zwischenröhre getrennte Erweiterungen (a, b bei II Fig. 738) anzubringen, weil bei nur einer nicht ganz mit Quecksilber gefüllten Erweiterung durch, beim Transporte des Instrumentes unvermeidliche Erschütterungen leicht ein Theil dieses Quecksilbers von dem übrigen getrennt wird und dann die Wiedervereinigung mit großer Schwierigkeit und Gefahr für das Instrument verbunden ist, während bei zwei Erweiterungen (a, b), wenn nur die untere (a) Quecksilber enthält und die obere (b) leer ist, diese Uebelstände wegfallen. Denn ist a ganz voll Quecksilber, so kann wegen der Capillaritätswirkung durch Erschütterungen keine Trennung hervorgebracht werden, und ist a nur zum Theil voll, so kann zwar Trennung erfolgen, diese wird aber nicht hindern, das Thermometer unmittelbar zur Beobachtung zu verwenden, weil dabei in b die Wiedervereinigung des Quecksilbers von selbst erfolgt.

siedpunkt hinfällt. Daß so die Scale von der Röhre sich wegnehmen und immer wieder genau an dem nämlichen Platze befestigen läßt, ist in so ferne gut, als man das Instrument in einem kleineren Raume zum Behufe des Transportes verwahren kann und während dieser Verwahrung das sehr gebrechliche Instrument unter der Last der metallenen Scale nicht Gewalt leidet. Daß übrigens der Maßstab m n selbst zur Fixirung der oft genannten (Scale-) Punkte dienen, mithin die Stelle einer eigentlichen Scale vertreten könne, bedarf wohl keiner ausdrücklichen Bemerkung . . . . (179)

Um nun mit dem beschriebenen Thermometer an den betreffenden Orten die Siedtemperaturen des Wassers genau beobachten und überhaupt das Instrument in, seinem Zwecke entsprechender und zugleich bequemer Weise handhaben zu können, ist vor Allem noch ein Kochapparat erforderlich, der das zum Sieden zu bringende Wasser enthalten, in dem Raume darüber das mit Quecksilber gefüllte Gefäß und die untern zwei Erweiterungen des Thermometers aufnehmen kann, (so daß letzteres sich bloß dem Dampfe, der bekanntlich die nämliche Temperatur hat wie das siedende Wasser an der Oberfläche (S. 840), ausgesetzt befindet, wodurch allein das Schwanken des Quecksilbers im Thermometer verhindert wird, welches Schwanken, wenn das Thermometer ins siedende Wasser versenkt ist, immer stattfindet und die Beobachtung sehr unsicher macht), den das siedende Wasser abkühlenden Einfluß des Windes abhält, und endlich compendiös, mithin auf Reisen leicht transportabel ist.

Man sieht einen solchen Apparat in Fig. 738 bei IV abgebildet. MN ist ein cylindrisches Gefäß aus Messingblech von 3″ Durchmesser und 6″ Höhe, welches mit einem ebenfalls messigenen, genau schließenden Deckel M versehen ist, und in einer etwa 2″ hohen Schichte das siedende Wasser enthält. Der Deckel hat in der Mitte eine $^3/_4$″ weite, kreisrunde Oeffnung mit aufgeworfenem Rande r, und an seiner inneren Seite in der Nähe des Umfanges vier metallene, 3″ lange Stifte 1, 2, 3, 4 befestigt, welche unten eine kleine ringförmige, mit 4 Armen a, a_1, a_2, a_3 versehene Scheibe b tragen, die sich längst der Stifte auf und nieder schieben läßt, und eine Art Korb bildet, auf welchem das Thermometergefäß A in gehöriger Entfernung von der Wasseroberfläche ruht, während die Röhre, so weit sie die Scale oder den Maßstab (mn bei III) trägt, durch die oben erwähnte kreisrunde Oeffnung hervorragt, und darin mittelst zweier, ihrer Mitte entlang mit Furchen versehener Korkstöpselhälften, zwischen denen sie eingeklemmt ist, festgehalten wird. cd ist eine ziemlich weite, im Innern des Gefäßes MN fast durch dessen ganze Höhe herab gehende und nahe am Boden (bei c) nach außen mündende Röhre, welche den aus dem siedenden Wasser gebildeten Dämpfen, nachdem sie auf das Thermometer eingewirkt haben, freien Abzug gestattet, wodurch jeder Erhöhung ihrer Spannkraft über den der Siedhitze entsprechenden Grad vorgebeugt ist. Das Gefäß MN steht ferner auf einem andern, etwa 3″ hohen Blechcylinder PQ, welcher etwas weiter ist als MN und an der Seite eine hinreichend große Oeffnung hat, um eine Weingeistlampe W unter den Boden des Gefäßes MN einzusetzen. Dieses Gefäß läßt sich, um den Apparat zum Transport compendiöser zu machen, in seinen Untersatz PQ einschieben. Beim Gebrauche wird es dann, nachdem es herausgezogen worden, mittelst zweier in der Nähe des Bodens angebrachter, seitwärts hervorstehender Stifte in eine, am obern an MN anpassenden Rande von PQ eingelassene Nuth eingerieben und so festgestellt. Um den vorhin erwähnten abkühlenden Einfluß des Windes zu verhüten, wird der durch die eben besagte Uebereinanderstellung der Cylinder MN und PQ gebildete eigentliche Kochapparat in einen andern, oben offenen Blechcylinder RS (bei V Fig. 738) gestellt, der mit diesem Apparate die nämliche Gestalt und Höhe, aber etwa 1″ mehr im Durchmesser hat und auch aus zwei ineinander schiebbaren Theilen besteht. Da der etwa $^1/_2$″ weite Zwischenraum zwischen den beiden in einander gestellten Gefäßen beim Versuche immer mit den bei c ausgetretenen Wasserdämpfen erfüllt ist, so wird der besagte Einfluß des Windes ganz hintangehalten. Der Cylinder RS kann übrigens gleich als Büchse zur Aufbewahrung des Kochgefäßes beim Transporte dienen; denn hat man den Cylinder MN in sein Gestelle PQ und eben so den Theil R des Cylinders RS in den Theil S geschoben, so kann man auch die zwei auf diese Art erhaltenen verkürzten Gefäße in einander stellen, und das innere mittelst eines auf das äußere passenden Deckels in diesem äußeren wie in einer Büchse einschließen. Zu weiterer Bequemlichkeit kann der letztgenannte

Deckel ein Kästchen zur Aufbewahrung eines Feuerzeuges zum Anzünden der Weingeistlampe, einiger vorräthiger Korkstücke und anderer Kleinigkeiten enthalten. Ebenso kann man den inneren Raum des Kochgefäßes dazu benützen, um darin während des Transportes die Weingeistlampe und ein den Weingeist enthaltendes Gefäß aufzubewahren. Das Ganze kann endlich in ein mit Umhängeriemen versehenes ledernes Futteral (VI Fig. 738) eingeschoben und so bequem getragen werden. Das Thermometer muß aber in einem wohl ausgepolsterten, verschlossenen Etui transportirt werden, worin es in einer mit ihm eine gleiche Gestalt habenden Vertiefung unverrückbar liegt Neben demselben kann der nach Lüftung der Schraubenzwingen 1, 2 vom Thermometer herabgenommene Scale- oder Maßstabstreifen und ein gewöhnliches, zur Bestimmung der Lufttemperatur dienliches, gutes Thermometer, beide ebenfalls in passenden Vertiefungen, untergebracht sein. In einer mit Rohr überflochtenen, gut verpfropften und zugleich mit dem besagten Lederfutteral über die Schulter gehängten Flasche endlich läßt sich der nöthige Vorrath von destillirtem Wasser leicht transportiren.

Bei der Anwendung des nun beschriebenen Thermobarometers zum Behufe einer Höhenmessung ist folgendermaßen zu verfahren: An dem betreffenden Orte angelangt, stellt man den Kochapparat an einem geeigneten, vorzüglich auch gegen heftigeren Wind möglichst geschützten Platze auf dem Boden auf, setzt nach Einfüllung der erforderlichen Menge destillirten Wassers durch die Oeffnung (r) im Deckel das Thermometer auf die ringförmige Tragplatte (b), und erhält es durch in besagter Oeffnung beiderseits der Thermometerröhre eingepaßte halbrunde Korkstücke in vertikaler Stellung, macht die Scale oder den Maßstab (mn) an der Röhre am gehörigen Platze (mittelst der Schraubenzwingen 1, 2) fest und beginnt nun die Erhitzung des Wassers. Kocht dieses und es hat das Quecksilber im Thermometer einen sich nicht mehr ändernden Stand angenommen, so stellt man den Nonius mit den Visirfäden seines Absehens O am obersten Punkt der Quecksilbersäule ein und liest im Falle, wo die Röhre eine Thermometerscale trägt, unmittelbar die Temperatur des siedenden Wassers ab. In dem Falle, wo der Maßstab m n die Stelle der Thermometerscale vertritt (179), wird diese Temperatur nachher aus dem abgelesenen Stande des auf dem obersten Punkte der Quecksilbersäule an dem Maßstabe eingestellten Nonius in aus dem Vorhergehenden leicht begreiflicher Weise berechnet. Nach der so gefundenen Temperatur des siedenden Wassers wird nun die derselben entsprechende Spannkraft des aus dem siedenden Wasser aufsteigenden Dampfes, die dem am Versuchsorte eben herrschenden Luftdrucke gleich ist, berechnet oder aus schon früher berechneten, geeigneten Tabellen entnommen, und der so erhaltene Werth als Barometerstand für den Ort in die betreffende barometrische Höhenformel eingeführt. Da in jeder derartigen brauchbaren Formel auch immer die Lufttemperatur des Beobachtungsortes vorkommt, so ist auch diese Temperatur gleichzeitig mit jener des siedenden Wassers zu beobachten, wozu das in dem oben erwähnten Etui verwahrte gewöhnliche Thermometer gehört, welches daher in der Nähe des Ortes, wo das Wasser siedet, unter den bei der barometrischen Höhenmessung (auf S. 286) angegebenen Vorsichten aufzustellen und zu beobachten ist.

Was die Berechnung der Spannkraft des gesättigten Dampfes nach der Temperatur des Wassers, aus welchem er sich entwickelt, anbelangt, so wurde schon auf S. 855 erwähnt, daß man bisher noch kein einfaches Gesetz zwischen dieser Spannkraft und Temperatur aufzufinden vermochte. Mit der Erfahrung am meisten übereinstimmend ist für Temperaturen von $0^0 - 100^0$ C. die Formel von Regnault, nämlich $\log. e = a + b\alpha^t + c\beta^t$, wo e die Spannkraft des Dampfes bedeutet (dieselbe Bedeutung hat e auch in den nächstfolgenden Formeln), $a = 4{\cdot}7384380$, $\log. b = 0{\cdot}1340339 - 2$, $\log. c = 0{\cdot}6116485$, $\log. \alpha = 0{\cdot}006865036$ und $\log. \beta = 0{\cdot}9967249 - 1$ ist. Für Temperaturen über 100^0 C. stimmt sehr nahe Dulong's Formel $e = [1 + 0{\cdot}007153\ (t - 100)]^5$ oder Tredgold's (von

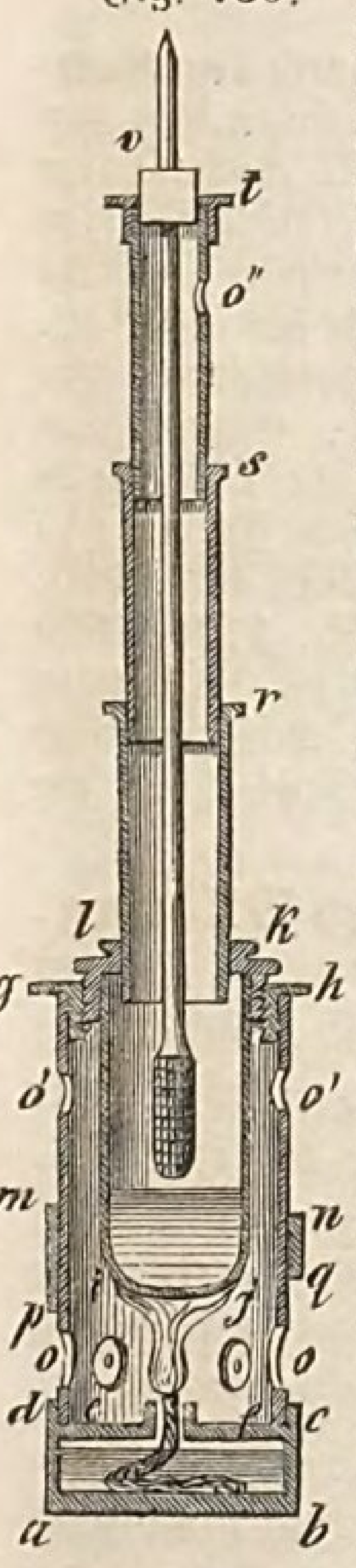
Mallet verbesserte) Formel $100\,e = \left(\frac{t + 75}{85}\right)^6$. Ziemlich gut paßt auch für nicht zu hohe Spannkräfte die August'sche Formel

$$\log.\ e = \frac{23{\cdot}945371\,.\,t}{800 + 3t} - 2{\cdot}2960374.$$

Die Tabelle **XXII** am Ende des Buches, welche die den verschiedenen Temperaturen (von Zehntel zu Zehntel) entsprechende Spannkraft der Wasserdämpfe enthält, ist von Regnault berechnet. Eine andere derartige Tabelle größeren Umfanges, von Gintl nach der oben angegebenen August'schen Formel für die obersten 10 Temperaturgrade des siedenden Wassers von Hundertel zu Hundertel eines Grades berechnet, findet man in der schon früher (S. 864) erwähnten Schrift: „Das Höhenmessen mit dem Thermometer von J. W. Gintl." Diese Tabelle enthält neben den die Maße der Spannkräfte repräsentirenden, auf 0° C. reducirten Barometerständen zugleich die denselben entsprechenden absoluten, nicht corrigirten Höhen.

Regnault empfiehlt in neuerer Zeit zu thermometrischen Höhenmessungen den in Fig. 739 abgebildeten Apparat. i j k l, k r, r s und s t sind mehrere Messingröhren, die wie bei einem Fernrohre in einander stecken und verschiebbar sind. Die untere i j k l dient als Kochgefäß, hat 30 Millimeter Durchmesser und ist in eine weitere Hülle e f g h eingeschraubt, an welche mittelst eines Bajonnetschlüssels eine kleine Weingeistlampe a b c d befestigt wird. Um den zur Verbrennung nöthigen Luftzug zu erhalten, sind in der Hülle e f g h unten bei 0, 0, 0 und oben bei 0', 0', 0' Oeffnungen angebracht. Ein ausgeschnittener, auf der eben besagten Hülle mit Reibung drehbarer Ring m n p q gestattet, die untern Oeffnungen theilweise zu schließen, wenn der Wind zu heftig weht. Die Höhe des ganzen Apparates beträgt 15 oder 35 Centimeter, je nachdem alle Theile möglichst weit in einander geschoben oder aus einander gezogen sind. Man schüttet in das Kochgefäß etwa 40 Kubikcentimeter gemeinen Wassers, und hängt das Thermometer T T mittelst eines Drahtes oder Häkchens so auf, daß sein Quecksilberbehälter T 2 — 3 Centimeter über der Wasserfläche schwebt, und das Ende der Quecksilbersäule während des Siedens eben aus dem Pfropfe v hervorragt, was sich durch entsprechendes Auseinanderziehen der Röhren leicht bewerkstelligen läßt. Das Thermometer (welches, damit bei stärkerer Erwärmung desselben sein Nullpunkt keine Veränderung erfährt, aus einer Röhre von Krystallglas mit daran geblasenem Behälter aus dem nämlichen Glase bestehen muß), hat eine Scale mit willkürlichen, aber unter einander genau gleich großen Abtheilungen, und geht nur von 75° bis 100°. Der Werth eines Grades wird folgendermaßen bestimmt. Zunächst wird es wie gewöhnlich mit gut ausgekochtem Quecksilber so weit gefüllt, daß dies, in schmelzendes Eis getaucht, vom Behälter aus ungefähr 1/3 der wohl calibrirten Röhre einnimmt. Man notirt den Theilstrich der besagten willkürlichen Scale, wo so das Quecksilber steht; es sei der nte. Hierauf stellt man das Thermometer neben ein Normalthermometer in ein großes Gefäß mit Wasser von der Temperatur t (etwa 20° C.). Diese Temperatur des Wassers muß streng stationär erhalten werden (was leicht erzielt wird, wenn sie von jener der Luft in der Umgebung wenig abweicht, und das Wasser fortwährend umgerührt wird). Man schreibt nun den Theilstrich der willkürlichen Scale, wo jetzt die Quecksilberoberfläche steht,

Fig. 739.



auf; es sei der $n_1$te. Es ist nun offenbar $\frac{n_1 - n}{t}$ der Werth eines Grades des Thermometers. Nun treibt man eine Portion Quecksilber aus der Röhre, so daß dieses dann im Dampfe des siedenden Wassers bis nahe ans obere Ende der Röhre reicht. Man treibt nun noch alle Luft aus der Röhre, schmelzt diese dann zu und zeichnet den Scalestrich n_2 auf, den es dann in der Temperatur T des Dampfes vom siedenden Wasser unter einem Drucke von nahe 760 Millimeter anzeigt. Ein Grad des Thermometers wird nun den modificirten Werth

$$\frac{\frac{n_1 - n}{t} + \frac{1}{6480}(n_2 - n)}{1 + \frac{T}{6480}}$$ haben.

Es folgt hier ein Fall einer solchen Bestimmung als Beispiel. Es war $n = 53$, $t = 20^0 1$ und $n_1 = 240{\cdot}4$, folglich der Werth eines Grades $\frac{240{\cdot}4 - 53}{20^0{\cdot}1} = 9{\cdot}3233$. Es zeigte das Thermometer nach Heraustreiben einer Portion Quecksilbers im Dampfe des siedenden Wassers unter 751·72 Millimeter Druck, folglich bei 99°·69 Temperatur auf den 203·9ten ($n_2$ten) Theilstrich der willkürlichen Scale. Wäre kein Quecksilber herausgelassen worden und die Thermometerröhre lang genug gewesen, so hätte das Quecksilber bei 99°·69 Temperatur auf den 982·44ten Theilstrich gezeigt, indem $99^0{\cdot}69 \times 9{\cdot}3233 + 53 = 982{\cdot}44$ ist. Es ist also bei der Temperatur 99°·69 eine Quecksilbermenge aus der Röhre getreten, entsprechend $982{\cdot}44 - 203{\cdot}9 = 778{\cdot}54$ Abtheilungen der willkürlichen Scale, mithin der Nullpunkt des Thermometers um $778{\cdot}54 \frac{1}{1 + \frac{99{\cdot}69}{6480}} = 766{\cdot}73$ Scaleabtheilungen dem Quecksilberbehälter näher gerückt, so daß der wirkliche Nullpunkt unseres Thermometers nun bei dem $53 - 766{\cdot}73 = - 713{\cdot}73$ten Theilstrich der willkürlichen Scale liegt, also der neue Werth eines Grades $\frac{203{\cdot}9 + 713{\cdot}73}{99^0{\cdot}69} = 9{\cdot}2048$ ist und der Punkt 100 auf dem 206·75ten Theilstrich der willkürlichen Scale fällt.

Die einzige Unvollkommenheit dieser Graduirungsmethode besteht darin, daß man den Ausdehnungscoefficienten des Glases für alle Behälter als gleich voraussetzt; es kann dies jedoch zu keinem merklichen Fehler führen, weil die Glieder, in welche dieser Coefficient eintritt, immer sehr klein sind.

Kupfer sagt von der hypsometrischen Methode (der Methode, Höhen durch den Kochpunkt des Wassers zu messen), Regnault habe derselben durch seine Untersuchungen über den Druck des Wasserdampfes eine solche Sicherheit gegeben, daß der transportable Kochapparat bald das zerbrechliche Barometer auf Reisen verdrängen wird, und er gibt für solche Messungen die mit der Wahrheit ziemlich genau stimmende Formel $z = 300t$ . . . (†), worin z die Höhe des Standpunktes über demjenigen Punkt bedeutet, wo der Kochpunkt des Wassers 100° C. oder wo die auf 0° Grad reducirte Barometerhöhe 760^{mm} und t die Temperatur an diesem Standpunkte, ausgedrückt in Centesimalgraden, aber nicht von 0 hinauf, sondern von 100 herab gezählt, bedeutet. Die Höhe z ist ziemlich genau, wenn sie nicht 150 Meter übersteigt. Aus Folgendem ergibt sich die nahe Uebereinstimmung der empirischen Formel (†) mit der genauen; erstere gibt für $t = 1, 2, 3, 4, 5$ die respectiven Höhen 300, 600, 900, 1200, 1500, während man durch genaue Rechnung die Höhen 295, 594, 894, 1196, 1500 erhält. Da wo der mittlere Barometerstand am Meere 760^{mm} beträgt, sind die berechneten Zahlen selbst die Höhe über der Meeresfläche; wo ersteres nicht der Fall ist, muß man noch ungefähr 10 Meter für jedes Millimeter, um welches der mittlere Barometerstand am Meere größer ist als 760^{mm}, hinzufügen.

383. Latentwerden von Wärme bei der Dampfbildung.

So wie zum Schmelzen, so ist auch zu jeder Umwandlung eines Körpers in Dunst oder Dampf Wärme erforderlich, die demselben zufließen muß und, indem sie die Funktion der Formänderung übernimmt, gebunden wird. Ja es beträgt, wie wir später an einem andern Orte sehen werden, die Wärme, welche dazu gehört, um eine gewisse Menge einer tropfbaren Flüssigkeit, z. B. Wassers, in Dampf zu verwandeln (d. i. die latente Verdampfungswärme dieser Flüssigkeit), weit mehr als die Wärme, welche nöthig ist, um die nämliche Menge dieser Flüssigkeit durch Umwandlung der betreffenden Substanz aus der starren in die tropfbare Form (in unserem Beispiel von Eis in Wasser) zu erhalten; sie ist, nach Person, für Substanzen, die die nämliche Siedtemperatur haben, gleich, und richtet sich sonst nach dem Siedpunkte, so daß sie in der Regel (nur bei wenigen Körpern findet eine Ausnahme Statt) mit diesem wächst. Der sich entwickelnde (mit seiner Flüssigkeit in Berührung stehende) Dampf enthält ferner, da er immer eine bestimmte Temperatur hat, außer der besagten gebundenen Wärme eine gewisse Menge freier, und es findet nach Pambour's Untersuchungen das schon von Watt aufgestellte merkwürdige Gesetz statt, daß in einer bestimmten Gewichtsmenge Dunst oder Dampf die Summe der freien und der latenten Wärme, unabhängig von der Temperatur, die er hat, und dem Grade der Spannung, unter welchem er entsteht, immer dieselbe ist, so daß stets die nämliche Wärmemenge erfordert wird, um aus Wasser von be-

stimmter Temperatur, z. B. 0°, eine gewisse Menge, z. B. 1 Gramme, gesättigten Dampfes von irgend einer beliebigen Temperatur zu erzeugen . . . (180)

Von der einer siedenden Flüssigkeit zugeführten Wärme geht eine viel größere Menge in den Dampf über, als in der Flüssigkeit zurückbleibt, und jede noch so starke Vermehrung des Wärmezuflusses zu einer einmal ins Sieden gekommenen Flüssigkeit hat nur eine vermehrte und raschere Dampferzeugung und durchaus keine Erhöhung der Temperatur der Flüssigkeit oder des Dampfes zur Folge, da alle weiter zufließende Wärme zur Bildung von Dampf verwendet wird und daher nicht erwärmen kann. Ein Thermometer wird in einer siedenden Flüssigkeit, wenn man sie auch noch so sehr erhitzt, beim Anbeginn des Siedens und nachdem dieses wie lange immer gedauert hat, stets die nämliche Temperatur zeigen. Eine gehörige Berücksichtigung dieser Thatsache würde manche bedeutende Brennmaterial Ersparniß, z. B. in den Haushaltungen, zur Folge haben, wo man nicht selten siedendes Wasser dadurch heißer und zum bessern und schnelleren Erweichen des Fleisches oder anderer Lebensmitteln geeigneter zu machen wähnt, daß man ein recht lebhaftes Feuer unterhält, während dadurch nichts als eine raschere Verdampfung erzielt wird, die zu den besagten Zwecken nichts beiträgt, da diese nur durch längeres anhaltendes Sieden, wozu bloß die Unterhaltung eines ganz mäßigen Feuers nothwendig ist, erreicht werden. Wird das Sieden einer Flüssigkeit durch künstlich zugeführte Wärme hervorgebracht, so liefert diese letztere das zur Dampfbildung nöthige Quantum; findet es aber ohne künstliche Wärmezuführung (zu Folge Verminderung des auf der Flüssigkeit lastenden Druckes u. s. w.) statt . . . (1); so muß die zur Dampferzeugung erforderliche Wärme aus der Umgebung genommen, diese also abgekühlt werden. Eben so muß offenbar die Verdampfung (Verdunstung) einer Flüssigkeit bei Temperaturen unter ihrem Siedpunkte mit Abkühlung ihrer Umgebung verbunden sein, wenn nicht eigens Wärme in für die Dunstbildung hinreichendem Maße zugeführt wird.

Von den vielen Erscheinungen, die ihren Grund in dem Gebundenwerden von Wärme beim Verdunsten oder Verdampfen haben, können hier nur wenige Platz finden, und es sollen gerade solche gewählt werden, die ihres häufigen Vorkommens oder des auffallenden und eclatanten Erfolges wegen besondere Wichtigkeit haben. Es sind folgende: Nach einem Bade empfindet man gewöhnlich Kälte (weil die Wassertröpfchen, die auf dem Körper, oder selbst nach sorgfältigem Abtrocknen noch in den Poren desselben sitzen, verdunsten und die dazu nöthige Wärme größtentheils aus dem Körper nehmen); durch einen Regen oder durch Aufspritzen von Wasser wird (zu Folge Verdunstung) die Luftwärme in bedeutendem, zur Sommerszeit sehr wohlthuendem Grade vermindert; wenn man sich im Schweiße befindet, läuft man leicht Gefahr, sich zu verkühlen, besonders wenn man einem Luftzuge ausgesetzt ist, denn der Schweiß braucht beim Verdunsten Wärme, die er dem Körper entzieht, und im Luftzuge, welcher die aus dem Schweiße gebildeten Dünste immer schnell entfernt, so daß wieder neue entstehen können, also die Dunstbildung befördert wird, wird dem Körper daher mehr Wärme entzogen.

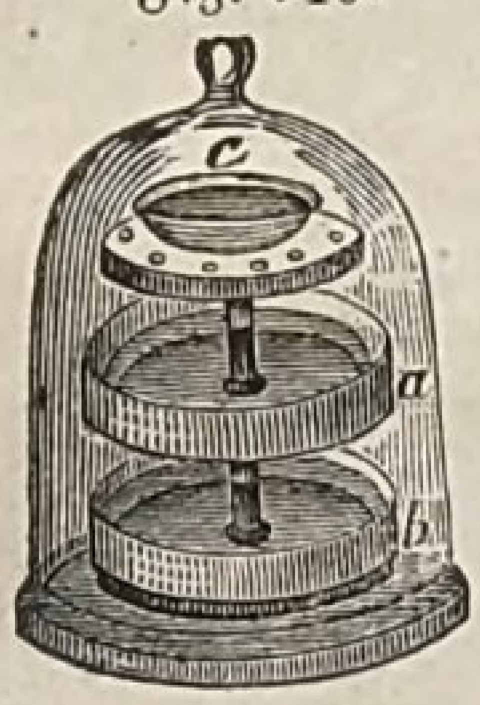
So wie beim Luftzuge, durch die Entfernung der gebildeten Dünste, wird die Dunstbildung auch befördert: 1) durch Temperaturerhöhung, weil da die Spannkraft der Dünste wächst und diese dann die ihrer Entwicklung sich entgegenstellenden mechanischen Hindernisse, den Widerstand der Luft u. s. w., leichter überwinden können; 2) durch Verdünnung der Luft in dem Raume, wo die Verdünstung vor sich geht, wegen Verminderung des eben erwähnten Widerstandes; 3) durch Absorbtion der gebildeten Dünste oder andere, gleich dem Luftzuge oder Winde die Wegschaffung dieser Dünste bewirkenden Mittel; 4) durch Vergrößerung der Oberfläche der verdünstenden Flüssigkeit und dadurch bewirkte Vermehrung der Punkte, an welchen gleichzeitig Dünste sich entwickeln.

Solander, Banks und Blayden haben in einem über 120° C. erhitzten Lokale, welches sie aber erst betraten, nachdem sie sich vorher am ganzen Körper in Schweiß versetzt hatten, längere Zeit ausgehalten, weil alle Wärme, die sonst in ihren Körper eingedrungen wäre, zur Verdampfung des Schweißes verwendet, mithin gebunden wurde. Die Bierwürze wird zum Behufe schneller Abkühlung in seichten, weiten Behältnissen (den Kühlschiffen oder Kühlstöcken) mit großer Oberfläche der Luft unter künstlichem, nicht selten

mittelst eigener Mechanismen (Windflügel u. dgl.) erzeugtem Zuge oder Winde ausgesetzt. — Getränke werden im heißesten Sommer, indem man sie in weite, Wasser enthaltende Gefäße (Kühlwannen) stellt, dadurch lange kühl erhalten, daß die in sie eindringen wollende Wärme zum größten Theil gleich an der Oberfläche des Wassers beim Geschäfte der Dunstbildung latent wird, und die Spanier erreichen den nämlichen Zweck dadurch, daß sie die Getränke in porösen, nicht glasirten Thongefäßen, Alkarazzas genannt, dem Luftzuge aussetzen, wobei ein kleiner Antheil des Getränkes, der durch die Poren an die äußere Gefäßoberfläche tritt und dieselbe mit einer Flüssigkeitsschichte überzieht, indem er rasch verdunstet, die Wärme bindet, die sonst dem Inhalte des Gefäßes zufließen und denselben erwärmen würde.

Stellt man ein Schälchen (am besten aus einem guten Wärmeleiter, z. B. verzinntem Eisenblech) mit etwas Wasser in eine weitere Schale mit Schwefeläther und bringt das Ganze unter den Recipienten einer guten Luftpumpe, so kann man durch hinreichend lange fortgesetztes Verdünnen der Luft das Wasser mitten im Sommer oder in einem geheitzten Zimmer zum Gefrieren bringen, indem durch die [nach 2) auf S. 869] sehr rasche Dunstbildung aus dem Wasser und in weit größerem Verhältnisse aus dem sehr flüchtigen Schwefeläther dem zurückgebliebenen Wasser bis zum endlichen Erstarren fortwährend Wärme entzogen wird. Dieses Gefrieren kann auch erreicht werden, wenn man dem Schwefeläther Schwefelsäure substituirt, welche jedoch nicht durch eigene Verdunstung, sondern [nach 3) S. 869] dadurch wirkt, daß sie vermöge ihrer großen Verwandtschaft zum Wasser die im luftverdünnten Raume in jedem Augenblicke reichlicher entstehenden Wasserdünste immer gleich absorbirt und so wieder neuen Dünsten Platz macht. Recht entsprechend zu diesem letzteren Experimente, wobei es auf eine möglichst große Oberfläche der absorbirenden Schwefelsäure ankommt, ist die in Fig. 740 abgebildete Vorrichtung, woran a, b zwei übereinander stehende seichte Porzellanschalen für die concentrirte Schwefelsäure sind, und die ebenfalls seichte gläserne Schale c (am einfachsten ein mit 3 Wachsstückchen aufgekittetes größeres Uhrglas) das zum Gefrieren zu bringende Wasser enthält. In einem innerlich mit einer ununterbrochenen Rußschichte überzogenen Uhrglase kann man, nach Smith, einige Tropfen Wasser unter der Luftpumpe ohne Anwendung von Schwefelsäure, Aether u. dgl. in wenigen Minuten zum Gefrieren bringen. Noch besser als Glas ist ein seicht ausgehöhlter, und in der schaleartigen Höhlung durch Anbrennen berußter Kork, der sich übrigens auch der Glasschale über Schwefelsäure mit Vortheil substituiren läßt. Wasser adhärirt nämlich dem Ruße nicht, kann dann also vom Gefäße keine Wärme empfangen. In einer Porzellanschale, die innerlich berußt und hierauf mit einer dünnen Schichte Terpentinöl überzogen war, gefroren 2 Unzen Wasser an der Oberfläche in 6 Minuten.

Fig. 740.



In Wollaston's Kryophorus wird Wasser ebenfalls dadurch zum Gefrieren gebracht, daß man einen Theil desselben verdampfen macht. Es unterscheidet sich dieser Kryophorus von dem auf S. 861 beschriebenen und in Fig. 735 abgebildeten Pulshammer nur dadurch, daß die Röhre zwischen den beiden Kugeln $1\frac{1}{2}-2$ Fuß lang ist, und der Apparat anstatt Weingeist Wasser enthält; übrigens ist der innere Raum gleichfalls luftleer gemacht, und zwar ganz durch das nämliche Verfahren, wie beim Puls- oder Wasserhammer (S. 861). Läßt man nun alles Wasser in eine der Kugeln zusammenlaufen und versenkt hierauf die andere in eine Kältemischung (z. B. aus Schnee oder Eis und Kochsalz), so wird in der ersteren, wenn auch von warmer Luft umgebenen Kugel nach wenigen Minuten das Wasser gefroren sein, weil die aus demselben im luftleeren Raume rasch entstehenden Dünste durch Condensirung in der eingekühlten Kugel immer gleich wieder weggeschafft werden, und so die Verdunstung des Wassers in der freien Kugel im raschen Fortgange erhalten wird. — Umwickelt man die Kugel eines Quecksilberthermometers mit Mousselin und hält diesen durch allmäliges Auftröpfeln von Schwefeläther oder (besser) von tropfbarer schwefliger Säure nur kurze Zeit feucht, so erstarrt das Quecksilber in der Kugel zu Folge der schnellen und starken Abkühlung, welche es durch die rapide Verdampfung der besagten aufgetröpfelten, außerordentlich flüchtigen Substanzen (es siedet nämlich die schweflige Säure schon bei -8^0 und Schwefeläther bei $+28^0$ R.) erleidet. Aus demselben Grunde kann ein kleines Thier, z. B. eine Maus, durch hinreichend lange fortgesetztes Betropfen mit Schwefeläther, der, wie wir eben hörten, sehr rasch verdampft, in warmer Umgebung erfrieren gemacht werden.

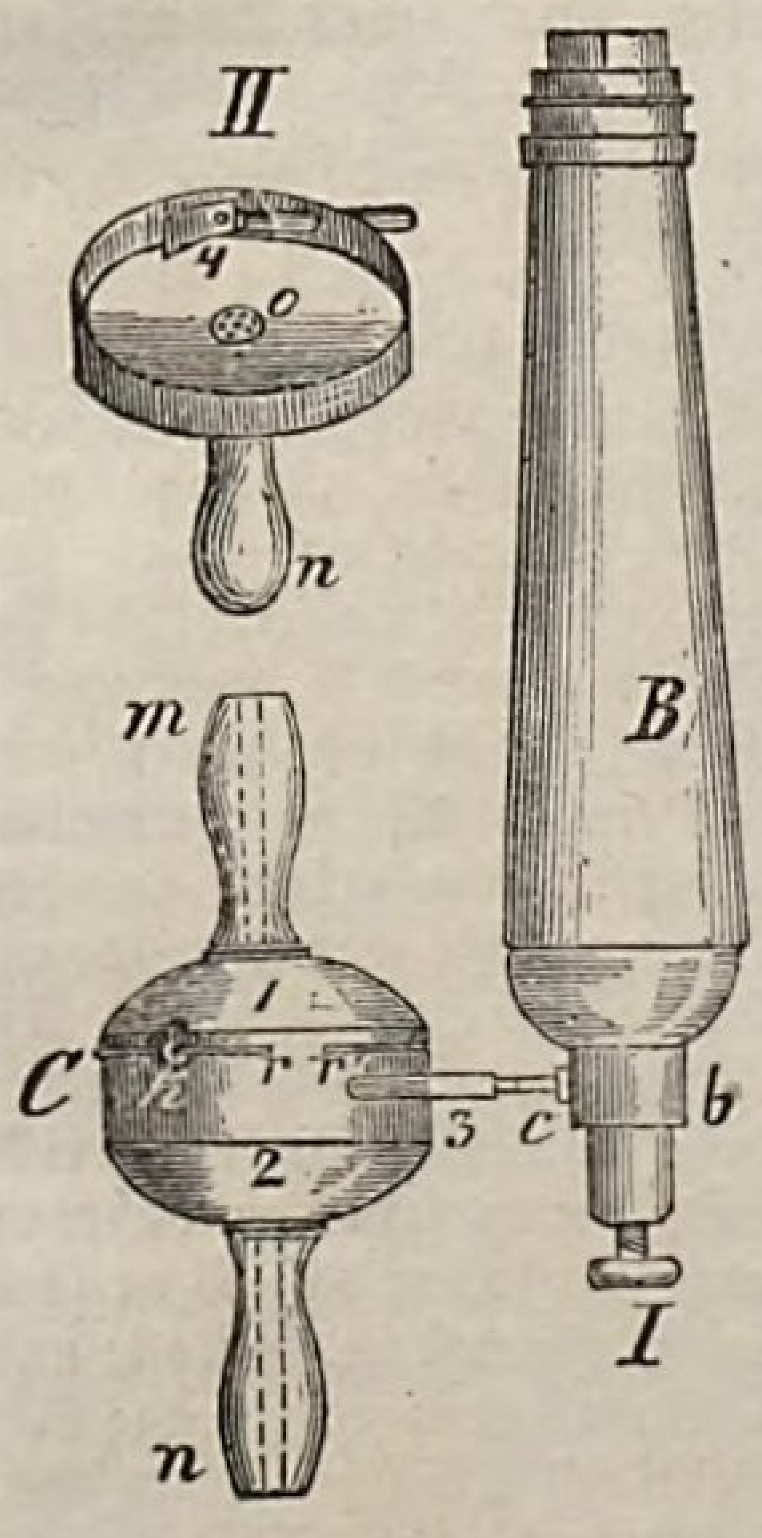
Mittelst der oben genannten tropfbaren schwefligen Säure kann, wie zuerst Boutigny zeigte, Wasser in einem hellglühenden Platintiegel gefrieren gemacht werden. Gießt

man nämlich in einen solchen etwas der besagten Säure, gleich nachher auf diese eine entsprechende Menge Wassers und schüttet nun unmittelbar nachher den Inhalt des Tiegels schnell (auf einen Teller, Tisch u. dgl.) aus, so erscheint das Wasser in Schnee oder Eis verwandelt. Die in den Tiegel gegossene schweflige Säure ballt sich darin zur Gestalt einer abgeplatteten Kugel zusammen, die am Boden des Tiegels liegen bleibt, und nur langsam verdampft. Wie aber das Wasser hinzukommt, wird die Säure zum größten Theile auf Kosten der Wärme des Wassers rapid in Dampf verwandelt und dieses dadurch bis zum Gefrieren erkaltet. Faraday hat, indem er in den glühenden Platintiegel zuerst Schwefeläther und feste Kohlensäure brachte, und nachher in das im sphäroidalen Zustande befindliche Gemenge eine Metallschale mit Quecksilber tauchte, selbst letzteres zum Erstarren gebracht. So wie die schweflige Säure verhalten sich in der eben beschriebenen Beziehung auch andere tropfbare Flüssigkeiten gegen glühendes Platin oder andere stark erhitzte Metalle. Läßt man z. B. in einen stark erhitzten Silberlöffel einen Wassertropfen fallen, so wird dieser nicht auf dem Metalle sich ausbreiten und unter Zischen fast augenblicklich in Dampf aufgelöst, wie man es erwartet, da dies bekanntlich schon auf einer nur mäßig erhitzten Ofenplatte geschieht, sondern in Kugelform im Löffel sich hin und her bewegen, und zuletzt an der tiefsten Stelle liegen bleiben; läßt man noch einen zweiten, dritten Tropfen hinzu fallen, so vereinigen sich diese mit dem ersten zu einen einzigen größeren Tropfen, und dieser hat dann die Gestalt einer abgeplatteten Kugel, ganz wie ein großer Quecksilbertropfen, der auf einer Fläche ruht, zu welcher das Quecksilber keine Adhäsion hat. Diese Erscheinung, welche zuerst von Leidenfrost beobachtet wurde, und daher kurz mit der Benennung „der Leidenfrost'sche Versuch" bezeichnet wird, sieht man fast allgemein als Folge der abstoßenden Kraft der Wärme an, indem man voraussetzt, daß diese Kraft nicht bloß zwischen den gleichartigen kleinsten Theilchen eines und desselben Körpers, wie z. B. des Wassers, wenn es in Dampf verwandelt wird, sondern auch zwischen ungleichartigen Körpertheilchen (in unserem oben betrachteten Falle), zwischen jenen des erhitzten Metalles und des Wassers, wirksam sei. Die Abstoßung hebt die Adhäsion zwischen dem Metalle und der Flüssigkeit auf, und daher kommt die Kugelform der letzteren; wegen dem Nichtvorhandensein von Adhäsion findet zwischen dem erhitzten Metalle und der Flüssigkeit keine Berührung statt, letztere kann daher von ersterem nicht die zum raschen Verdampfen erforderliche Wärme erhalten. Erst wenn bei Wiederabkühlung des Metalles die besagte Abstoßung unter den die Adhäsion hindernden Grad abgenommen hat, verliert das Wasser die Kugelform, fließt auf dem Metalle aus einander und nimmt dann aus diesem so viele Wärme auf, daß es sehr rasch, oft augenblicklich, unter heftigem Zischen ganz in Dampf verwandelt wird. Wendet man nun das Gesagte auf das Boutigny'sche Experiment an, so ergibt sich folgende Erklärung desselben: So lange die schweflige Säure allein als kugelförmige Masse im glühenden Platintiegel sich befindet, ist sie ringsherum isolirt, kann also von nirgendsher die zum Sieden nöthige Wärmemenge erhalten. Wie aber das Wasser hinzu kommt, welches im Tiegel ebenfalls Kugelform annimmt und dabei nur mit der Säure in Berührung steht, sonst aber wie diese ringsherum isolirt ist; so liefert ersteres (das Wasser) der letzteren (der Säure) die zum Sieden erforderliche Wärme, dieses tritt ein, geht rapid vor sich, und das Wasser wird dadurch so stark abgekühlt, daß es und zwar fast augenblicklich gefriert. Um den hier besprochenen gewiß sehr interessanten und überraschenden Versuch leicht im Kleinen anzustellen, bedarf es nur einer ganz kleinen, etwa 2 Zoll im Durchmesser haltenden Platinschale. Man erhitzt sie über einer Weingeistlampe mit doppeltem Luftzuge zum lebhaften Glühen, läßt dann, während man sie mittelst eines Zängelchens hält, so viel schweflige Säure hinein fallen, als für eine Kugel von der Größe einer kleinen Haselnuß oder großen Erbse hinreicht, schüttet dann auf diese in stark abgeplatteter Form gebildete Kugel etwa einen halben Kaffeelöffel voll Wasser und leert nun sogleich mit Hilfe des besagten Zängelchens, woran man fortwährend den Tiegel hält, den letzteren um. Schließlich mag hier noch bemerkt werden, daß Person den Grund des Nichtstattfindens einer Adhäsion und Berührung zwischen dem Metalle und der Flüssigkeit beim Leidenfrost'schen Versuch in dem Entstehen einer geringen Menge von Dämpfen sucht, welche an der dem Metalle zunächst kommenden Stelle des Flüssigkeitstropfens, noch ehe dieser mit dem Metalle in Berührung kommt, sich bilden und durch ihre Expansivkraft die Berührung zwischen diesem Tropfen und dem Metalle verhindern. In dem eben mehrfach erwähnten Mangel an Adhäsion zwischen der Flüssigkeit und dem erhitzten Metalle (indem nämlich diese Adhäsion bei steigender Temperatur sich so vermindert, daß endlich die Anziehung der Flüssigkeitstheilchen unter einander größer wird, als die Anziehung gegen das Metall, die Flüssigkeit dann Kugelgestalt annimmt und nur wenig Berührungspunkte mit dem erhitzten Metall hat, also auch nur geringe Erwärmung erfährt, nämlich nur durch strahlende Wärme, welche die Flüssigkeit passirt, ohne sie zu erwärmen) liegt auch gewiß

der Grund der zuerst von Boutigny entdeckten, und seitdem vielfach bestätigten Erscheinung, daß man mit der Hand, besonders wenn sie vorher naß gemacht worden, schnell auf geschmolzenes Blei oder Eisen schlagen, ja selbst dieselbe rasch hineinstecken, und wieder herausziehen kann, ohne sich nur im geringsten zu brennen, und ohne Zweifel hat Boutigny auch recht, wenn er in einem ähnlichen Verhalten des Wassers in Dampfkesseln an oder über glühenden Wandstellen die Ursache sucht, warum Kesselexplosionen entstehen, wenn die besagten glühenden Wandstellen durch irgend eine Veranlassung plötzlich abgekühlt werden . . . (†)

Durch das Latentwerden von Wärme beim Verdampfen ist es Thilorier zuerst gelungen, Kohlensäure im festen Zustande darzustellen und eine Temperatur von — 90° C. (welche die eben entstandene feste Kohlensäure besitzt) hervorzubringen. Er erzeugte sich nämlich vorerst durch kräftige Comprimirung kohlensauren Gases in einem eigenen, von ihm erdachten Apparate tropfbar flüssige Kohlensäure (wir werden sogleich einen andern, zu dem nämlichen Zweck dienenden, aber viel einfacheren und auch in anderen Beziehungen vorzüglicheren, von Natterer in Wien erdachten Apparat, so wie seine Anwendung kennen lernen), ließ sie aus ihrem Behälter in einem dünnen Strahle so in eine dosenartige Büchse strömen, daß der Strahl darin an der ganzen cylindrischen Wand herumgehen mußte, und erhielt auf diese Weise in der Büchse starre Kohlensäure, welche eine weiße, weiche, schneeähnliche Masse bildete, und durch Gefrieren der tropfbaren Kohlensäure zu Folge rascher Verdampfung eines Theils derselben auf Kosten der Wärme des unverdampft gebliebenen entstand. Als Behälter für die in angedeuteter Weise entstehende tropfbare Kohlensäure dient bei dem erwähnten Natterer'schen Apparat eine sehr starke Flasche von Schmiedeisen (**B** Fig. 741), welche von der Flasche (dem Kolben) einer Windbüchse nur dadurch verschieden ist, daß sie in ihrer Wölbung einen Ansatz **b** luftdicht eingeschraubt hat, aus welchem eine horizontale, messingene Röhre **c** hervorsteht, die am äußeren Ende mit einer feinen Ausflußöffnung versehen ist, und deren anderes Ende mit dem inneren Raume der Flasche **B** durch eine Bohrung communicirt, die sich mittelst einer Schraube **I** schließen oder öffnen läßt (ersteres durch tieferes Hineinschrauben und letzteres durch weiteres Herausschrauben von **I**), je nachdem man den Inhalt von **B** in **B** absperren oder durch die Röhre **c** ausströmen lassen will. Die oben besagte dosenartig gestaltete Büchse (**C** Fig. 741) besteht aus zwei messingenen, cylindrischen, ungleich hohen Schalen 1, 2, die in der Mitte ihrer gewölbten Böden mit hölzernen Handgriffen **m**, **n** versehen sind und sich mittelst dieser zu einer geschlossenen Büchse über einander stecken und andererseits schnell von einander trennen lassen. Damit sie nach dem Uebereinanderstecken fest zusammenhalten und nicht durch einen Druck von innen nach außen (durch die Spannkraft des aus der in die Büchse eingeströmten tropfbaren Kohlensäure entstehenden Dampfes) aus einander getrieben werden können, geht um die höhere Schale 2 an ihrem obern Rande herum ein aus der Cylinderfläche hervorragender festgelötheter Reif **r**, und die andere, niedrigere Schale 1 hat an ihrem Rande diametral gegenüberstehend zwei Häkchen **h** festgemacht, welche, nachdem man die zwei Schalen über einander gesteckt, und eine gegen die andere etwas verdreht hat, über den Reif greifen und so das Auseinandergehen der Schalen hindern. Die Schale 2 ist ferner mit einer Röhre 3 versehen, welche aus ihrer

Fig. 741.



Cylinderfläche tangential hervorsteht, und vor der inneren Mündung befindet sich ein gekrümmtes Blech (4 bei **II** Fig. 741), um dem eintretenden Säurestrom desto sicherer die oben bezeichnete Richtung in der ganzen Büchse herum zu geben. Die Handgriffe m, n sind der Länge nach durchbohrt, und diese Bohrungen an der Einmündung in die Büchse mit siebartig durchlöcherten Metallplättchen gedeckt, um wohl den entstandenen Kohlensäure-Dämpfen freien Austritt aus der Büchse zu gestatten, die starre Kohlensäure aber darin zurück zu halten. Um nun diese letztere zu erzeugen, werden die Flasche **B** und die Büchse **C** in der durch die Figur anschaulich gemachten Art zusammen (nämlich die Ausflußröhre c in die Röhre **3** an der Büchse **C** hinein) gesteckt, und nun schraubt man, während die Flasche vertical ist, den gewölbten Theil nach unten gekehrt, und die Büchse (von einem zweiten Individuum) an beiden Handgriffen auch in vertikaler (wie in der Figur) oder besser in horizontaler Richtung gehalten wird (so nämlich, daß beide Handgriffe diese Richtung haben), die Schraube **I** entsprechend weit heraus. Es wird da die den untern Theil der Flasche einnehmende tropfbare Kohlensäure durch die Expansivkraft der im obern Theile vorhandenen gasförmigen im continuirlichem Strome durch die Röhren c und **3** unter heftigem Brausen in die Büchse **C** hineingetrieben und, wenn dann nach einigen Secunden lang fortgedauertem Brausen die beiden Schalen der Büchse schnell aus einander genommen werden (indem man eine gegen die andere so weit verdreht, bis die Häkchen h an die Unterbrechungsstellen des Reifes r kommen und durch diese durchgezogen werden können), so findet man darin die eben erwähnte weiße, weiche, schneeähnliche Masse. Mischt man diese mit ein wenig Aether, so entsteht eine halbflüssige Masse von — 98° **C.**, in welcher man beträchtliche Mengen Quecksilbers gefrieren machen kann. Tropfbares Stickstoffoxydul, welches Natterer durch Comprimirung des Stickstoffoxydulgases ebenfalls mittelst seines Compressionsapparates zuerst in größerer Menge dargestellt hat, erzeugt, indem es zu Folge eigener Verdampfung eines Theils erstarrt, eine Temperatur von — 115° **C.**

384. Freiwerden von Wärme bei der Umwandlung ausdehnsamer Stoffe in tropfbare. Dämpfe werden bekanntlich (**377**) durch einen gehörigen Grad von Druck oder Erkaltung wieder in die tropfbare Flüssigkeit umgewandelt, aus der sie gebildet wurden ... (1), und dabei wird alle die Wärme, welche bei ihrer Bildung latent wurde, wieder frei ... (2). Auf (1) gründet sich die Anwendung der Kühlapparate beim Destillationsprozesse, und aus (2) erklärt sich die Erhitzung des Kühlwassers bei diesem Prozesse und die Nothwendigkeit, dasselbe öfters zu wechseln (mit kaltem zu vertauschen). Mehr hierüber an einem andern Orte. Wegen der großen Menge Wärme, welche die Wasserdämpfe enthalten, und wegen der Leichtigkeit, mit welcher sie dieselbe, sowohl die freie als auch die gebundene (letztere nämlich bei der Condensirung), an kältere Körper abgeben, werden sie sehr häufig zum Erhitzen von Flüssigkeiten, zum Heitzen von Trockenapparaten, Trockenstuben und von Wohn- und Arbeitslokalitäten u. s w. angewendet. Besonders vortheilhaft ist in vielen Fällen diese Anwendung des Umstandes wegen, daß die Temperatur der durch Wasserdämpfe, welche unter keinem höheren Drucke als jenem der Atmosphäre stehen, erhitzten Körper nie über 100° **C.** steigen kann *), daher viele Stoffe, z. B. Extrakte, gewisse Nahrungsmittel und andere organische Substanzen, wenn

*) Der Wasserdampf unter dem besagten atmosphärischen Drucke kann nämlich auch nur höchstens eine Temperatur von 100° C. erreichen und immer bloß so lange an einen Körper Wärme abgeben, als dieser noch kälter ist, er mithin selbst noch nicht die Temperatur 100° C. besitzt.

man sie durch Dampf erhitzt oder kocht, am sichersten gegen das Anbrennen verwahrt werden *).

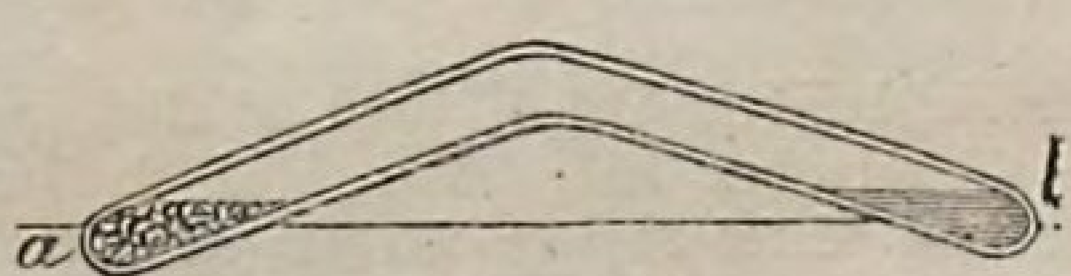
Sicherlich verdanken die Gase eben so wie die Dämpfe den ausdehnsamen Zustand dem Besitze von latenter Wärme, und unterscheiden sich wahrscheinlich von den Dämpfen nur dadurch, daß sie noch sehr weit vom Sättigungspunkte entfernt sind. Es wurde deswegen schon seit lange her vermuthet, daß auch die Gase der Verwandlung in tropfbare Flüssigkeiten (der Condensirung) fähig seien, und daß es dazu nur hinreichend großer Druckkräfte oder Kältegrade, vielleicht beides zugleich, bedürfe. Wirklich ist diese Condensirung auch endlich und zwar zuerst Davy und Faraday **) gelungen, und es sind durch diese Gelehrten, ferner durch Niemann,

---

*) Bei der in Rede stehenden Heizung durch Dampf wird letzterer in einem eigenen Kessel erzeugt und zum Behufe der Erhitzung von Flüssigkeiten entweder in diese (die sich dann in Kufen oder andern passenden Behältnissen von Holz befinden können, während bei der Heizung über offenem Feuer diese Behältnisse aus weit kostspieligeren feuerfesten Materialien bestehen müssen), aus einer Röhre direkt einströmen gelassen, oder in metallenen, durch die betreffende Flüssigkeit vielfach hin und her geführte Röhren geleitet. Ersteres ist in Bezug auf vollständigste und schnellste Benützung der Wärme des Dampfes unstreitig das Vortheilhafteste und kann in Badeanstalten, um die Bäder zu erwärmen, in Zuckerfabriken zum Behufe der Erhitzung des zum Auflösen des Rohzuckers bestimmten Wassers und überhaupt in allen Fällen geschehen, wo das Hinzukommen des durch Condensirung des Dampfes entstehenden Wassers zu der zu erhitzenden Flüssigkeit nicht schadet. Das Leiten des Dampfes in Röhren durch die zu erwärmende Substanz, geschieht, wenn diese eine Flüssigkeit ist, z. B. die abzudampfende Bierwürze in einem Bräuhause, die zu erhitzenden Farbebrühen in einer Färberei u. dgl., am zweckmäßigsten mittelst am Boden des Flüssigkeits-Behälters (der Pfanne, des Kessels u dgl.), oder auch der Höhe nach spiralförmig herumgeführter Röhren, so daß der Flüssigkeit eine recht große, erwärmende Oberfläche dargeboten wird, und für eine solche Oberfläche muß auch bei der Einrichtung und Leitung der durch die zu heitzenden Arbeits- oder Wohnlokalitäten, Trockenstuben u. dgl. gehenden Dampfröhren, bei der Einrichtung der zum Eindicken von Extrakten, Trocknen gewisser Gegenstände, z. B. der Zeuge (indem man sie um mehrere, mit heißem Dampf erfüllte Metallcylinder der Reihe nach hingleiten läßt), des endlosen Papiers, des Oelsamens u. s. w., bestimmter Apparate gesorgt sein. Das Wasser, welches aus dem Dampfe in dem Maße, als er an seine Umgebung Wärme abgibt (also abgekühlt und condensirt wird), entsteht und warm ist, wird entweder in den Kessel (den Dampferzeuger) zurückgeleitet, um darin wieder in Dampf verwandelt zu werden, oder man läßt es anders wohin abfließen, um es wie anderes warmes Wasser zum Waschen und u. dgl. zu benützen. Soll durch Dampfheitzung in einem Lokale eine bestimmte Temperatur erzeugt und erhalten werden, so gehört ein entsprechend großer Dampferzeuger und eine angemessene Oberfläche der Dampfleitungsröhren dazu. In England nimmt man bei Leitungsröhren aus Gußeisen fast allgemein an, daß zum Behufe der Heitzung eines Fabriks- oder andern Lokales auf 20—25° C. für je 2000 Kub. Fuß des besagten Lokales der den Dampf liefernde Kessel 1 Kub. Fuß Rauminhalt, und für je 200 Kub. Fuß dieses Lokales die Dampfleitung 1 □ Fuß Fläche haben müsse. Zur Bestimmung der erforderlichen Röhrenfläche S, durch welche eine Menge C Kubikfuße Luft in 1 Minute von der Temperatur t° zur Temperatur T nach Celsius erwärmt werden kann, gibt Tredgold die Formel $S = \frac{0{\cdot}48\,C\,(T - t)}{93{\cdot}3334 - T}$.

**) Faraday bewerkstelligte die Condensirung durch den Druck, den das Gas bei seiner im geschlossenen Raume vor sich gehenden Bildung durch seine Expansivkraft auf sich selbst ausübt und durch gleichzeitige Erkaltung. Folgendes Beispiel wird dieses Verfahren erläutern. Bringt man in eine einerseits zugeschmolzene und gebogene starkwandige Glasröhre (Fig. 742) etwas Cyan-Quecksilber (nach a), schmilzt dann auch das zweite Ende b zu und erwärmt nun

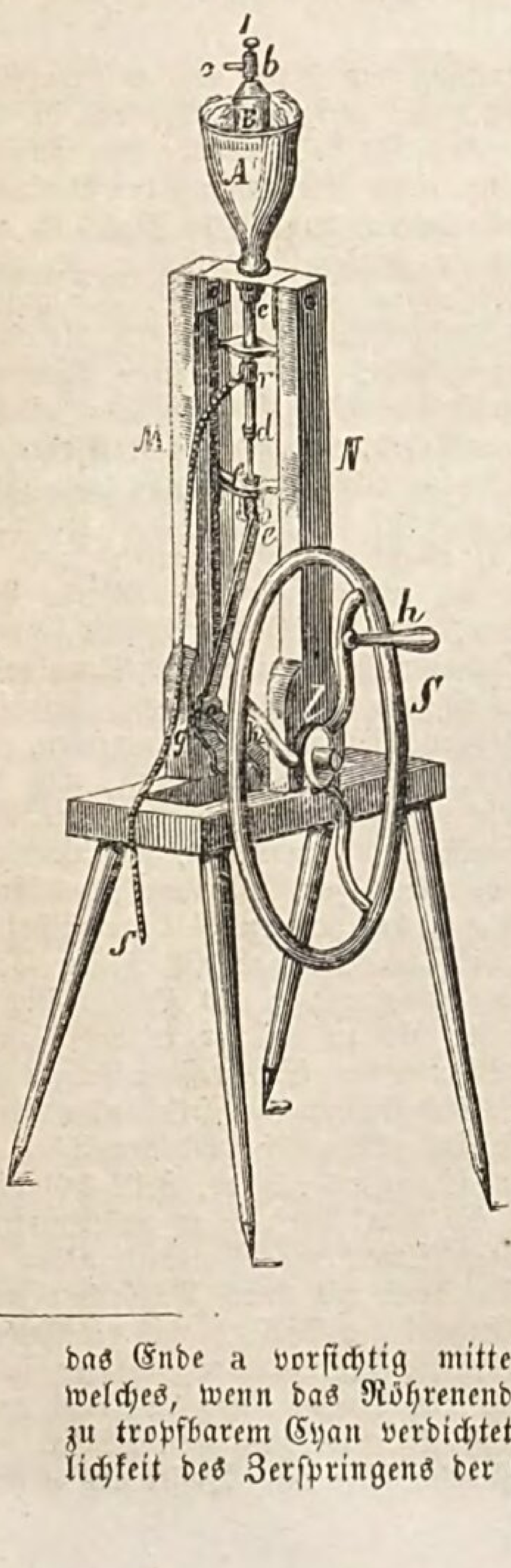
Fig. 742.



Thilorier, Natterer, schon mehrere vorher für permanent ausdehnsam gehaltene Gase, als: Ammoniak, Bromwasserstoffsäure, Chlor, Chloroxyd, Chlorwasserstoff, Cyan, Fluorbor, Jodwasserstoffsäure, Kohlensäure, Phosphorwasserstoff, schweflige Säure, Schwefelwasserstoff, Stickoxydul (und zwar durch Druck oder durch Druck und Kälte, einige davon, z. B. die schwefliche Säure, auch durch Kälte allein), tropfbar gemacht worden.

Wir nehmen hier Gelegenheit, den schon früher (S. 872) erwähnten einfachen, sehr wirksamen und für den Experimentator ganz gefahrlosen Apparat zu beschreiben, mit welchem Natterer die Kohlensäure und auch das Stickoxydul condensirt hat, und der in Figur 743 abgebildet ist. cd ist das Rohr (der Stiefel) einer Compressionspumpe derselben Art, wie sie als zum Comprimiren der Gase überhaupt geeignet, auf Seite 266 beschrieben und durch Fig. 248 bei III anschaulich gemacht wurde; nur steht diese Pumpe mit dem Behältnisse des zu comprimirenden (des kohlensauren) Gases nicht wie an dem eben citirten Orte unmittelbar, sondern durch einen festen Schlauch sr aus Kautschuk in Verbindung, welcher an der Ansatzröhre r (in der S. 266 angegebenen Weise) festgemacht ist; ferner wird die Kolbenstange ed anstatt durch die Hand, durch eine mit einem Schwungrade S versehene Krummzapfenwelle gkl die bei g und l im Holzgestelle MN ihre Lager hat, vermittelst der Verbindungsstange ek in Bewegung gesetzt, und ist mit dem untern Ende an einem metallenen Querstücke f befestigt, welches in vertikalen, an den inneren Seiten der Gestellsäulen M, N vorhandenen Nuthen läuft, wodurch ihr die Bewegung immer nach der Längenrichtung des Pumpenstiefels gesichert ist. Am obern Ende der Pumpe ist die S. 872 besprochene schmiedeiserne Flasche B angeschraubt, worin die Condensirung stattfindet, und welche an der Anschraubungsstelle ganz wie eine gewöhnliche Windbüchsenflasche eingerichtet (mit hohlem Schraubengewinde und Ventil versehen) ist. Um die Flasche stets kalt zu erhalten, ist sie mit einem, Eis oder eine Kältemischung enthaltenden, kupfernen Gefäße A umgeben.

Fig. 743.



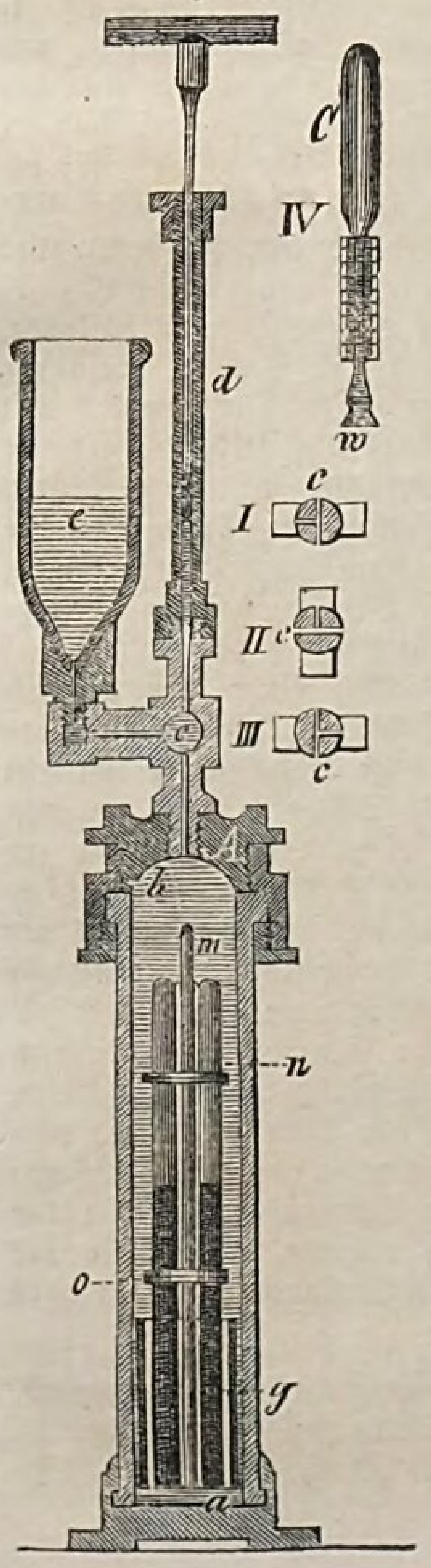
Das die gasförmige Kohlensäure enthaltende, durch den Schlauch rs mit der Pumpe vereinigtes Behältniß ist am einfachsten ein Gasometer der aun S. 290 beschriebenen und in Fig. 276 dargestellte Art. Derselbe ist jedoch viel kleiner, und es besteht daher der cylindrische Wasserbehälter, in welchen der oben geschlossene und unten offene Blechcylinder taucht, natürlich nicht aus in die Erde versenktem Mauerwerke, sondern ebenfalls aus Blech oder einem andern passenden Materiale. Mit einer der Röhren Dd und Ec (Fig. 276) steht der Apparat in Verbindung, worin die gasförmige Kohlensäure (mittelst Marmor und verdünnter Schwefelsäure) erzeugt wird, und mit der andern dieser Röhren ist der zur Compressionspumpe führende Schlauch rs vereinigt. Zwischen Röhre und Schlauch ist aber behufs der Austrocknung des Gases, bevor es in die besagte Pumpe gelangt, ein mit Chlorcalcium gefülltes Glasrohr eingeschaltet. Mit dieser Compressions-Maschine und unter gleichzeitiger Mitwirkung der großen Kälte, welche durch die mittelst dieser Maschine leicht darstellbare tropfbare Kohlensäure- oder Stickstoffoxydulflüssigkeit erzeugt werden kann, versuchte Natterer auch die Condensirung anderer Gase, die bis dahin noch jedem Drucke widerstanden, allein ohne

---

das Ende a vorsichtig mittelst einer Weingeistlampe, so entwickelt sich Cyangas, welches, wenn das Röhrenende b durch eine Kältemischung kalt erhalten wird, daselbst zu tropfbarem Cyan verdichtet wird. Derartige Versuche sind jedoch wegen der Möglichkeit des Zerspringens der Glasröhre sehr gefährlich.

Erfolg. Da er einsah, daß der schädliche Raum, der in allen Compressionsmaschinen nach Art der seinigen immer vorhanden ist, der Verdichtung eine gewisse, nicht überschreitbare Grenze setze, so daß dieselbe (die Verdichtung) nicht bis zu der für die besagten Gase erforderlichen Höhe getrieben werden kann, und da er, selbst nachdem dieser Raum unschädlich gemacht worden war, seine Compressionsmaschine wegen gewisser mechanischer Schwierigkeiten, die bei derselben einer großen Verdichtung entgegenstehen, noch für unzulänglich erkannte, so construirte er im Vereine mit Dr. L. Redtenbacher eine neue Compressionsmaschine. Dieselbe ist in den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 6. Bd. 5. Hft. (Juniheft 1851), beschrieben und gestattet eine Verdichtung von 3600 bis 4000 Atmosphären. Mit dieser Maschine unterwarf er, auch hierbei von Dr. Redtenbacher unterstützt, Sauerstoffgas, Stickgas, Kohlenoxydgas, atmosphärische Luft, Leuchtgas und Wasserstoffgas dem Versuche (S. 254). Es gelang zwar auch durch die so erzielte, ungemein starke Verdichtung die Tropfbarmachung der genannten Gase nicht, jedoch wurden Ergebnisse gewonnen, die in anderer Beziehung höchst interessant sind und zu folgenden Schlüssen berechtigen. Alle Gase verdichten sich bei sehr starkem Drucke in einem weit geringeren Verhältnisse, als der Druck wächst; es sind aber bei gleichen Druckkräften die Dichten der einzelnen Gase verschieden. Bei sehr hohem Drucke gilt also (wie auf S. 254 ebenfalls bereits mitgetheilt wurde) das Mariotte'sche Gesetz nicht mehr. Unter den eben vorher aufgezählten Gasen ist Stickstoff am wenigsten, Wasserstoff am meisten zusammendrückbar. Bei Zunahme des Druckes von einer Atmosphäre bis 3600 Atmosphären werden in einen bestimmten Raum, von einem Volum angefangen, anstatt 3600 Volume nur hineingedrückt: vom Stickgas 710, vom Kohlenoxyd 730, von atmosphärischer Luft 800, vom Leuchtgase 850 und vom Wasserstoff 1040 Volume.

Fig. 744.



Ein zur Zusammendrückung von Gasen und auch tropfbaren Flüssigkeiten (siehe **102**) sehr geeigneter Apparat ist der Oersted'sche. Er gestattet ebenfalls hohe Grade von Zusammendrückung, und zugleich eine leichte Beobachtung der Veränderungen, welche die Gase dabei erleiden, und ist in Fig. 744 abgebildet. ab ist ein dickwandiger, starker Glascylinder, der oben und unten mit metallenen Fassungen geschlossen ist. Die untere Fassung bildet zugleich das Fußgestelle desselben, und die obere enthält einen Aufsatz A eingeschraubt, der aus einer Compressionspumpe d, und einem gläsernen Wasserbehältnisse e besteht; der Hahn c daran ist so durchbohrt, wie man bei I, II oder III sieht. In der Stellung I setzt er das Wasser enthaltende Behältniß e, den Glascylinder ab und die Pumpe d in Communication; in der Stellung II macht er bloß e mit d, und in der Stellung III nur d mit ab communiciren; g ist ein Gefäß, am besten aus Eisenblech, mit Quecksilber gefüllt, durch welches die unten offenen Enden mehrerer oben zugeschmolzener Glasröhren, die mittelst eines eigenen am Boden von g befestigten Gestelles mno in senkrechter Stellung erhalten werden, abgeschlossen sind. Die Glasröhren sind alle gleichweit, und die eine ist mit einer Volumscale versehen; sie enthält reine und wohl ausgetrocknete atmosphärische Luft und dient, ein Verdichtungsmanometer (S. 263) vorstellend, zur Bestimmung des Grades der Compression, den die in den andern Röhren enthaltenen und darin ebenfalls mit Quecksilber abgeschlossenen Gase erfahren. Daß, und wie diese Bestimmung des Compressionsgrades aus der Höhe geschieht, bis zu welcher in der Manometerröhre das Quecksilber während der Compression steigen gemacht wird, ist für sich klar. Die Compression selbst aber wird in folgender Weise bewerkstelligt. Man schraubt den Theil A des obern Metallaufsatzes des Cylinders ab los, stellt das Gefäß g mit den betreffenden, die dem Versuche zu unterwerfenden Gase enthaltenden Röhren sammt der Manometerröhre in den Cylinder ab, füllt diesen dann mit durch Auskochen von Luft befreitem Wasser voll, schraubt den Theil A mit der Pumpe d wieder auf, füllt den Behälter e ebenfalls mit Wasser, und setzt die Pumpe in Wirkung. Zu diesem Ende gibt man dem Hahne c zuerst die Stellung II. und zieht den Kolben der Pumpe empor; es füllt sich dabei diese mit Wasser aus e her.

Dreht man dann den Hahn c in die Stellung III und drückt den Pumpenkolben nieder, so wird das Wasser aus d in den ohnehin schon mit Wasser vollgefüllten Cylinder a b gepreßt, dieses drückt auf das Quecksilber in g und macht, daß es in den in dasselbe tauchenden Glasröhren mit Gewalt in dem Maße immer mehr emporsteigt und die betreffenden Gase zusammendrückt, als man das beschriebene Spiel des Pumpenkolbens und des Hahnes c öfter wiederholt. Will man die bewirkte Comprimirung wieder aufheben, so braucht man nur dem Hahne e die Stellung I zu geben, indem dann das vorhin nach a b eingepumpte Wasser wieder nach e zurücktritt, und das Quecksilber in g auf seinen ursprünglichen Stand herabsinkt.

Um die Comprimirbarkeit des Wassers oder anderer tropfbarer Flüssigkeiten darzuthun, und zu messen (**102**), bringt man in das Gefäß g neben der Manometerröhre und anstatt der übrigen Glasröhren das Sympiesometer von Colladon und Sturm (Figur 744 bei IV). Dasselbe besteht aus einem genau calibrirten Stücke v w einer Thermometerröhre, an welchem einerseits ein weiterer, oben geschlossener Glascylinder C angeschmolzen, andererseits gewöhnlich eine kleine Erweiterung w angebracht, und der Zwischenraum mit einer Volumscale versehen ist, die sehr kleine aliquote Theile, z. B. Milliontel des Raumes von C, angibt. Ist nun das Apparatchen bis an die Erweiterung w mit der zu comprimirenden Flüssigkeit gefüllt und mit dem Quecksilber in g unten (bei w) abgesperrt, wird dann, wie vorher beschrieben wurde, der Cylinder a b und der Behälter e mit Wasser gefüllt, und Pumpe sammt Hahn in Thätigkeit gesetzt, so wird man die Größe der erfolgten Zusammendrückung der betreffenden Flüssigkeit bei dem durch die Manometerröhre gleichzeitig angezeigten Drucke, der ausgeübt wurde, aus dem Steigen des Quecksilbers in v w ersehen; denn dieses Steigen kommt von der besagten Zusammendrückung und nicht etwa von einer durch den Druck bewirkten Erweiterung des inneren Raumes von C, weil eine solche Erweiterung nicht stattfinden kann, indem wegen der im Wasser in a b nach allen Seiten hin gleichmäßig vor sich gehenden Fortpflanzung des mittelst der Pumpe geübten (einseitigen) Druckes (**104**) die Wände des Behälters C von außen nach innen einen eben so großen Druck erfahren, wie von innen nach außen.

385. Anwendung der Verdunstungsgesetze zum Messen des Feuchtigkeitszustandes der atmosphärischen Luft (Hygrometrie). Daß feste Körper in der atmosphärischen Luft, wenn sie darin hinreichend stark erkaltet werden, sich mit Wassertropfen (Thau) oder mit einer Art Schnee (Reif) überziehen, so wie viele andere Erscheinungen beweisen, daß in der atmosphärischen Luft immer mehr oder weniger Wasserdünste vorhanden sind. Da die Verdunstung in der Luft ganz nach den nämlichen Gesetzen, wie im leeren Raume vor sich geht (**378**), so kann offenbar die atmosphärische Luft aus dem Wasser der Meere, Seen, Flüsse u. s. w., mit dem sie fortwährend in Berührung steht, überhaupt aus der Umgebung, bei verschiedenen Temperaturen verschiedene Quantitäten Wasserdunst aufnehmen, ja bei einer und derselben Temperatur ungleich viel, immer aber nur höchstens eine gewisse Menge Dunst, nämlich das dieser Temperatur entsprechende Maximum enthalten. Das Verhältniß nun zwischen der Wasserdunstmenge, welche an einem Orte in der Luft wirklich vorhanden ist, zu jener, welche bei der herrschenden Temperatur darin höchstens vorhanden sein könnte (welche die Luft bei der herrschenden Temperatur braucht, um mit Dunst gesättigt zu sein), ist das, was man den Feuchtigkeitszustand der Luft an diesem Orte nennt, und die Bestimmung des Feuchtigkeitszustandes, also die Messung der Dunstmenge in der Luft, ist die Aufgabe der Hygrometrie. Es kann diese Aufgabe auf verschiedene Art gelöst werden; jede dazu taugliche Vorrichtung heißt Hygrometer.

Kennt man die Größe der Spannkraft, die der an einem Orte in der Luft bei der herrschenden Temperatur vorhandene Wasserdunst wirklich besitzt, so gibt das Verhältniß dieser Spannkraftsgröße zu dem der besagten Temperatur entsprechenden und bekannten (in der Tabelle XXIII verzeichneten) Spannkrafts-Maximum den Feuchtigkeitszustand des Ortes, weil nach dem Mariotte'schen Gesetze die Dichten und Gewichte des Dunstes bei unveränderter Temperatur sich gerade wie die Spannkräfte verhalten . . . (†). Es handelt sich daher, um den Feuchtigkeitszustand zu erfahren, bloß um die Ermittlung der Größe der Spann-

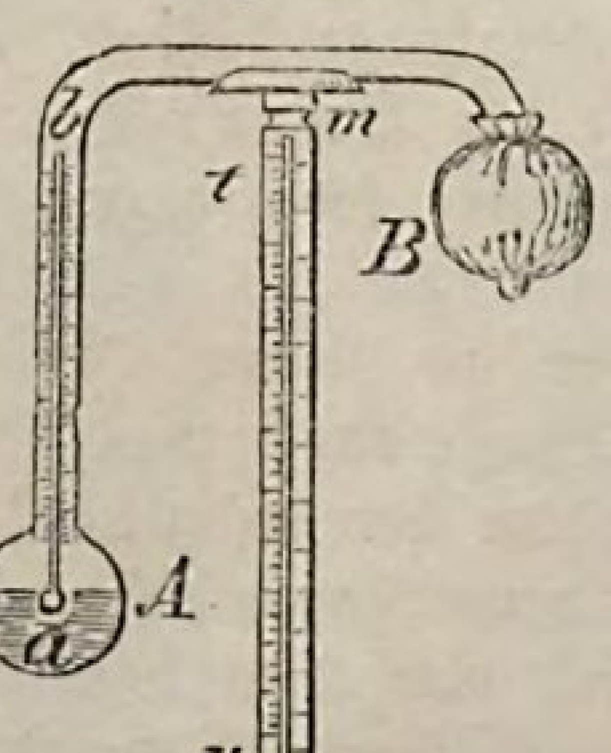
kraft, die der Dunst an dem betreffenden Orte bei der daselbst herrschenden Temperatur (t) hat, und diese Größe findet man offenbar, wenn man die Luft an dem Orte allmälig so weit abkühlt, bis der Dunst daselbst in den tropfbaren Zustand überzugehen anfängt: denn dann ist die fragliche (bei der Temperatur t stattfindende) Spannkraft das der Temperatur, bei welcher der besagte Uebergang in den tropfbaren Zustand beginnt, entsprechende Maximum (**377**) und ihre Größe kann unmittelbar aus der Tabelle **XXIII** entnommen werden. Wird nämlich die Luft allmälig immer mehr abgekühlt, so erfahren auch die Dünste darin die gleiche Abkühlung und werden dadurch immer dichter, bis sie endlich bei einer bestimmten Temperatur das Maximum der Dichte, d. i. jenen Dichtigkeitszustand erreichen, wo sie sich nicht weiter verdichten lassen, ohne theilweise in den tropfbaren Zustand überzugehen. Man heißt die Temperatur, bei welcher letzteres geschieht, kurz den Thaupunkt, weil sie in der Luft einen thauartigen Wasserniederschlag bewirkt, so daß die Körper, welche diese Temperatur erhalten, sich mit Thau überziehen.

Dem Allen nach hat man zur Bestimmung des Feuchtigkeitszustandes der Luft die Kenntniß der herrschenden Temperatur (t) und des Thaupunktes an dem betreffenden Orte nöthig: denn gemäß (†) ist dann der Quotient aus dem bei der Temperatur t stattfindenden in das dem Thaupunkte entsprechende Maximum der Spannkraft des Wasserdunstes (welche beide Maxima, wie schon gesagt, in der Spannkraftstabelle **XXIII** gefunden werden), der gesuchte Feuchtigkeitszustand. Wäre z. B. die Temperatur t eines Ortes 15° **C.** und der Thaupunkt 10° **C.**, so ist, da nach Tabelle **XXIII. C** diesen Temperaturen die Spannkraftsmaxima 12·699 und 9·165 Millimeter angehören, 9·165 : 12·699 = 0·721 der Feuchtigkeitszustand dieses Ortes, d. h. die Luft an dem Orte enthält nur 721 Tausendtel oder nahe 72 Prozente derjenigen Wasserdunstmenge, welche sie bei der herrschenden Temperatur (15° **C.**) höchstens enthalten könnte. Die Temperatur t wird, wie sichs von selbst versteht, mit einem gewöhnlichen Thermometer erhalten, und zur Bestimmung des Thaupunktes dienen die schon früher erwähnten sogenannten Hygrometer.

Dasjenige Instrument dieser Art, welches der Bequemlichkeit beim Gebrauche und der damit erzielbar geglaubten Genauigkeit wegen früher in großem Credite stand, ist das Daniell'sche (von Daniell erdachte) Hygrometer. Allein dasselbe gewährt die vorausgesetzte Genauigkeit in Wirklichkeit nicht, überdies ist es sehr complicirt und seine Anfertigung so schwierig, daß man der guten Beschaffenheit desselben nur dann gewiß sein kann, wenn man es von einem ganz verläßlichen und vertrauenswürdigen Künstler bezogen hat, und deswegen wurde diesem übrigens sehr sinnreichen Instrumente *) in neuerer Zeit fast all-

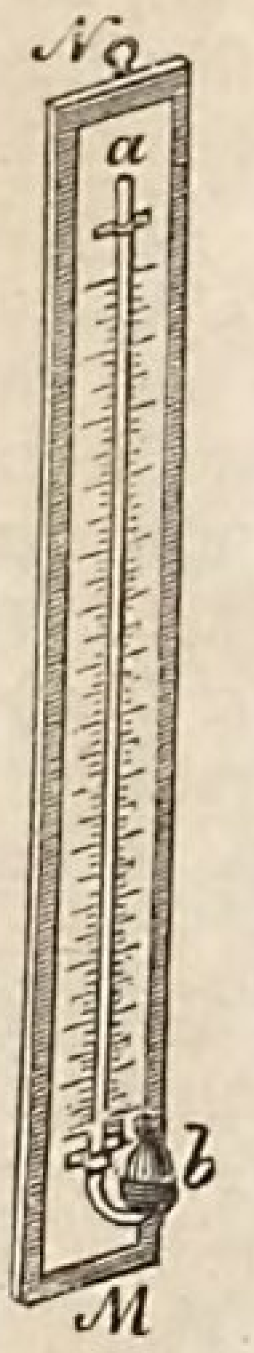
*) Daniell's Hygrometer, welches in Fig. 745 im Drittel der natürlichen Größe abgebildet ist, besteht aus einer zweischenklichen, an den Enden mit angeblasenen Kugeln versehenen Glasröhre. Die Kugel A hat eine möglichst glatte Oberfläche und ist etwas über die Hälfte mit Schwefeläther gefüllt, in welchen die Kugel a eines im längeren Röhrenschenkel eingeschlossenen, sehr empfindlichen Thermometers ab taucht. (Besser ist es, das Quecksilberbehältniß des Thermometers cylindrisch, anstatt kugelförmig zu gestalten, so daß es durch die ganze Aetherschichte hinabreicht, das Thermometer daher immer deren mittlere Temperatur anzeigt.) Die Kugel B ist mit Mousselin überzogen, und aus beiden Kugeln und der sie verbindenden Röhre muß auf das sorgfältigste alle Luft entfernt sein. (Es geschieht dies auf ähnliche Weise, wie das Luftleermachen des Wasserhammers, des Pulshammers oder des Kryophorus S. 561 und 870), indem man nämlich die Kugel B in eine am Ende offene Spitze auszieht, den in

Fig. 745.



gemein das Körner'sche Hygrometer vorgezogen, welches, was die Genauigkeit anbelangt, zwar auch nicht vorwurfsfrei, jedoch in der Einrichtung ganz einfach, im Gebrauche sehr bequem und äußerst leicht zu verfertigen ist. Es besteht dasselbe aus einem gewöhnlichen guten Quecksilberthermometer, woran, wie Fig. 746 zeigt, die Kugel (gewöhnlich) aufwärts gebogen, mit einer Mousselinhülle versehen, und an der untern Hälfte mit einer ringsherum an dieser Hülle dicht anliegenden halbkugelförmigen Schale b umgeben ist, welche aus dünnem Silberbleche besteht, an der äußern Oberfläche gut vergoldet und möglichst blank polirt ist. Wird auf die Mousselinhülle Schwefeläther geträufelt, so verdünstet dieser rasch, erkaltet dadurch die Thermometerkugel, die Schale b und die in ihrer Umgebung vorhandenen Wasserdünste, und es wird endlich, wenn die Erkaltung weit genug geht (was durch Wiederholen des Aufträufelns von Schwefeläther immer bewerkstelligt werden kann), die Schale an der äußeren polirten Oberfläche matt werden, indem sie sich mit Thau überzieht. Sie hat daher den Thaupunkt erreicht, oder vielmehr bereits überschritten. Nimmt man von den auf der Thermometerscale **MN** beobachteten Grenztemperaturen, von jener nämlich, wo sich noch kein Bethauen zeigte, und jener, wo dieses eben eintrat, das Mittel, so hat man die Temperatur, die man als den eigentlichen Thaupunkt betrachten kann, so daß das dieser Temperatur entsprechende Maximum der

Fig. 746.

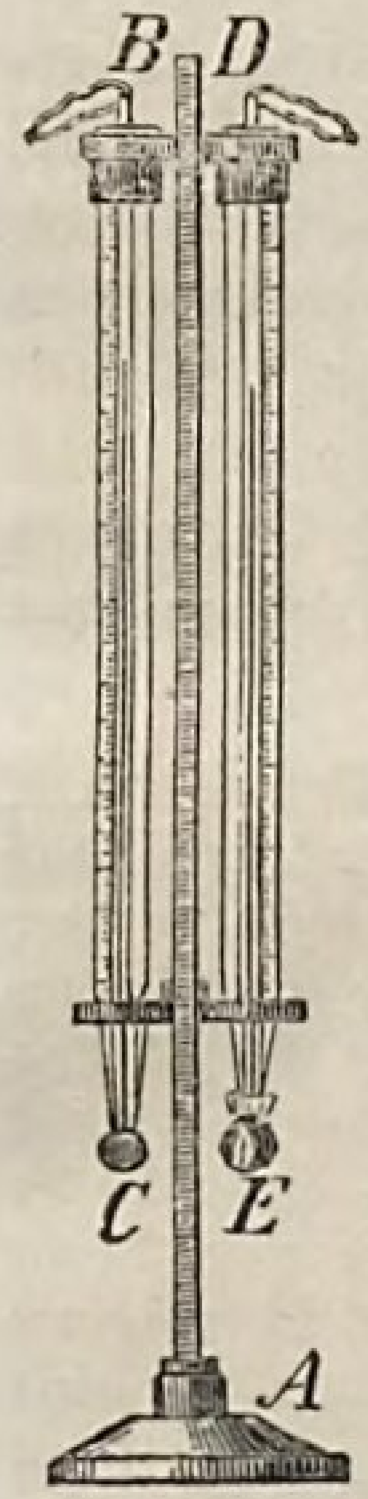


die Kugel im Ueberschusse eingefüllten Aether über einer Weingeistlampe zum Kochen bringt, und nachdem dieses Kochen lange genug fortgesetzt wurde, um annehmen zu können, daß der durch die besagte Spitze ausströmende Aetherdampf alle Luft aus den Kugeln und der Röhre mit sich fortgerissen habe, mit dem Ende dieser Spitze schnell in eine Stichflamme fährt und dasselbe zuschmilzt. Es ist dies aber eine Operation, deren gehörige Ausführung vorzugsweise die Verfertigung des Instrumentes so schwierig macht, wie oben angedeutet worden.) Eine federnde Hülse m am obern Ende des metallenen Trägers mn hält die Glasröhre fest, und das längst des Trägers herabgehende Thermometer tu dient zur Beobachtung der Lufttemperatur. Beim Gebrauch wird auf die Mousselinhülle von B mittelst einer Pipette tropfenweise Aether gebracht; die Verdunstung desselben in der Luft bewirkt eine bedeutende Erkaltung der Kugel B, hierdurch werden die Aetherdünste in B zu tropfbarem Aether condensirt, es bilden sich nun aus dem Aether in A neue Aetherdünste, die, in B anlangend, wieder condensirt werden; der Aether in A verdunstet dann neuerdings und wird durch diese fortgesetzte Dunstbildung so abgekühlt, daß er und mit ihm die Kugel A endlich unter die Temperatur herabsinkt, bei welcher die um A herum befindliche Luft mit der in diesem Momente in ihr enthaltenen Dunstmenge gesättigt sein würde, wo dann dieser Dunst das Maximum dieser Spannkraft überschreitet und sich auf der Kugel A in Thaugestalt absetzt. Die Temperatur, welche in dem Augenblicke, wo der Thau entsteht, das in A eingeschlossene Thermometer anzeigt, ist dann der gesuchte Thaupunkt. Regnault hat in einem Aufsatze: „Studien über Hygometrie“ überschrieben (Comptes rendus v. 1845, p. 1127), dem Daniell'schen Hygrometer mit Recht folgende Uebelstände zur Last gelegt: 1. Der Aether in der Kugel A hat in den verschiedenen Schichten beträchtlich ungleiche und zwar in den obern Schichten niedrigere Temperaturen. Im günstigsten Falle zeigt das in denselben tauchende Thermometer, wenn es sehr empfindlich (mit einem cylindrischen, anstatt mit einem kugelförmigen Quecksilberbehälter versehen) ist, die mittlere Temperatur aller Schichten an; diese Temperatur kann aber merklich verschieden von dem eigentlichen Thaupunkte, d. i. von jener Temperatur sein, von welcher die erste Thauablagerung auf **A** abhängt. **2.** Die Handhabung des Instrumentes fordert, daß der Beobachter sich längere Zeit in der Nähe desselben aufhalte, um den Aether auf B aufzuträufeln, den Thermometerstand in A abzulesen und den Beginn des Thauniederschlages auf A wahrzunehmen, und dies muß auf den Feuchtigkeitszustand und die Temperatur der Luft nothwendig von Einfluß sein. 3. Es verdunstet eine große Menge Aether auf der Kugel B, also ganz nahe der Stelle, wo man den Thauniederschlag beobachtet, und diese Verdunstung, so wie die

Spannkraft des Wasserdunstes die gesuchte Spannkraft der Wasserdünste in der Luft der Umgebung darstellt.

Abgesehen von den Mängeln des Daniell'schen und des Körner'schen Hygrometers in Bezug auf die Genauigkeit der damit erzielbaren Resultate, machen sie — und dies gilt auch von allen andern, unmittelbar zur Bestimmung des Thaupunktes dienenden Instrumenten — bei jeder mit ihnen vorzunehmenden Beobachtung einen eigenen, eine gewisse Zeit in Anspruch nehmenden Versuch (Auftropfen von Schwefeläther u. s. w.) nöthig. Dies ist nicht der Fall bei dem sogenannten Thermohygrometer oder Psychrometer, welches so wie ein gewöhnlicher Thermometer ohne irgend einen erheblichen Zeitaufwand jeden Augenblick eine Beobachtung gestattet, also sehr bequem und überdies von den oben erwähnten Mängeln vielmehr frei ist. Es wird an diesem Instrumente nicht der Thaupunkt, sondern die sogenannte Verdunstungs- oder Naßkälte, worüber sogleich das Nähere folgen wird, beobachtet, nach dieser die Größe der Spannkraft, welche die Dünste in der Luft bei der herrschenden Temperatur besitzen, nach einer eigenen Formel berechnet und endlich mittelst des so erhaltenen Werthes auf die aus dem Vorhergehenden bekannte Weise der Feuchtigkeitszustand der Luft gefunden, weswegen das Thermohygrometer auch Naßkältemesser heißt. Es rührt, seinem Prinzipe nach, von Lesli her, erhielt aber erst durch August die nachstehend beschriebene und durch Fig. 747 anschaulich gemachte zweckmäßige Einrichtung. **B C** und **D E** sind zwei von einem Gestelle **A** getragene, mit einander genau übereinstimmende und sehr empfindliche Quecksilberthermometer (bei jedem derselben, wie sie in der Figur dargestellt sind, ist die eigentliche Thermometerröhre sammt der Scale, woran jeder Grad in 10tel, mindestens in 5tel, getheilt sein muß, in einer weiteren, oben mit einer messingenen Fassung versehenen, unten über der Kugel angeschmolzenen Röhre eingeschlossen). An dem einen ist die Kugel (**E**) in Mousselin gehüllt, und diese überall an die Kugel dicht anliegende Hülle steht mit Wasser in einem kleinen, in der Nähe angebrachten Behältnisse fortwährend so in Verbindung, daß sie immer naß erhalten wird. (Zu diesem Behufe kann ein Gläschen mit reinem Wasser unter der Kugel **E** stehen und hinein die Fortsetzung der aus, über und unter der Kugel **E** zusammengebundenem Mousselin gebildeten Hülle tauchen, oder es kann diese letztere mit einem oben am Gestelle

Fig. 747.



Temperaturerniedrigung, welche sie in den angrenzenden Luftschichten bewirkt, muß offenbar gleichfalls den Feuchtigkeitszustand der Luft sehr merklich ändern. 4. Eine solche Aenderung wird auch dadurch bewirkt, daß der im Handel vorkommende Aether, dessen man sich doch gewöhnlich bedient, immer selbst bis zu $^1/_{10}$ seines Gewichtes Wasser enthält, welches zum großen Theil durch den Aetherdunst dem Raume zugeführt wird, in dessen Nähe die Bethauung vor sich geht. 5. Wenn die Luft warm und sehr trocken ist, findet, selbst wenn noch so viel Aether auf die Kugel B gebracht wird, nie eine Bethauung der Kugel A statt; es versagt daher in diesem Falle das Instrument vollkommen den Dienst. Daß diese Uebelstände fast in gleichem Grade auch das oben beschriebene und in Fig. 746 abgebildete Körner'sche Hygrometer treffen, leuchtet wohl von selbst ein; höchstens mag, was den 1. Punkt anbelangt, noch eigens bemerkt werden, daß die Anzeigen des Thermometers (ab Fig. 746) gleichfalls der mittleren Temperatur der verschiedenen Stellen des Quecksilbers in der Kugel (b) und keineswegs der Temperatur ihrer Umhüllung entspricht, auf welcher die Bethauung beobachtet wird, und daß diese Temperaturen bedeutend verschieden sein können, zumal da das Quecksilber im Thermometer immer sehr rasch sinkt.

festgemachten, Wasser enthaltenden und trichterförmigen Gefäße durch einen geflochtenen Wolldocht communiciren, der von unten in dieses Gefäß hineingeht.)

Es liegt diesem Instrumente die Voraussetzung zu Grunde, daß das Wasser, womit die Kugel E fortwährend benetzt erhalten wird, wenn die sie umgebende Luft mit Wasserdünsten nicht gesättigt ist, so lange verdunste, bis dieser Sättigungspunkt erreicht ist, daß, indem die hierzu erforderliche Wärme der die Kugel E zunächst umgebenden Luftschichte entzogen wird, die Temperatur dieser letzteren und im gleichen Maße das Quecksilber im benetzten Thermometer desto mehr sinken müsse . . . (1), je weiter die in dieser Luftschichte vorhanden gewesenen Dünste vom Sättigungspunkte (von dem der stattgefundenen Temperatur entsprechenden Maximum der Spannkraft) entfernt gewesen, daß aber von dem Augenblicke an, wo dieser Punkt erreicht ist, die besagte Luftschichte eine (so lange der in Rede stehende Sättigungszustand, der theils durch die Bildung neuer Dünste, theils durch die dabei stattfindende Erniedrigung der Lufttemperatur zu Stande gebracht wird, fortdauert) unveränderliche Temperatur behalte, die niedriger ist, als jene der Luft (außerhalb der nächsten die Kugel E umgebenden Schichte) und die oben erwähnte Verdunstungs- oder Naßkälte darstellt. Da diese Kälte von der eben besagten Temperatur und von der Dichte (dem Drucke) der Luft, ferner von der Spannkraft des in der letzteren vorhandenen Dunstes nach bekannten Gesetzen abhängt, so läßt sich offenbar, wenn gleichzeitig an dem Thermometer **DE** die Naßkälte (t_1), an **BC** die Lufttemperatur (t) und an einem in der Nähe befindlichen Barometer der Luftdruck (b) beobachtet worden, mittelst dieser Größen die so eben besagte Spannkraft (e) des in der Luft vorhandenen Wasserdunstes berechnen, und man erhält dann auf bekannte Weise den Feuchtigkeitsgrad der Luft. Nach August geben folgende Formeln mit der Erfahrung gut übereinstimmende Resultate: $e = e_1 - 0{\cdot}0008\,(t - t_1)\,b$ für Lufttemperaturen über 0^0, und $e = e_1 - 0{\cdot}0007\,(t - t_1)\,b$ für Lufttemperaturen unter 0^0. (Nach Regnault (siehe seine hygrometrischen Studien in Pogg. Ann. B. 65, und 88) kömmt anstatt des Coefficienten 0·0007 zu setzen 0·0006246.) In diesen Formeln bedeutet e_1 das der Naßkälte t_1 (der stationär bleibenden Temperatur des befeuchteten Thermometers **DE**) entsprechende Spannkraftsmaximum des Wasserdunstes, und die andern Buchstaben haben die oben angegebenen Bedeutungen. Wenn die Spannkraft e des Wasserdunstes in der Luft gefunden ist, kann auch leicht berechnet werden, wie viel Wasser in einem bestimmten Volum, z. B. in einem Kubikmeter Luft, bei der herrschenden Temperatur enthalten ist. Die dem Buche angehängte, von Eckhardt herrührende Tabelle **XXVI** enthebt von dieser Rechnung, indem sie unmittelbar angibt, wie viel bei einer bestimmten Temperatur der Luft und bei einer bestimmten psychrometrischen (im Stande des trockenen und befeuchteten Thermometers des Naßkältemessers stattfindenden) Differenz in einem Volum der Luft Milliontel dieses Volums Wasser (in Dunstform) vorhanden ist.

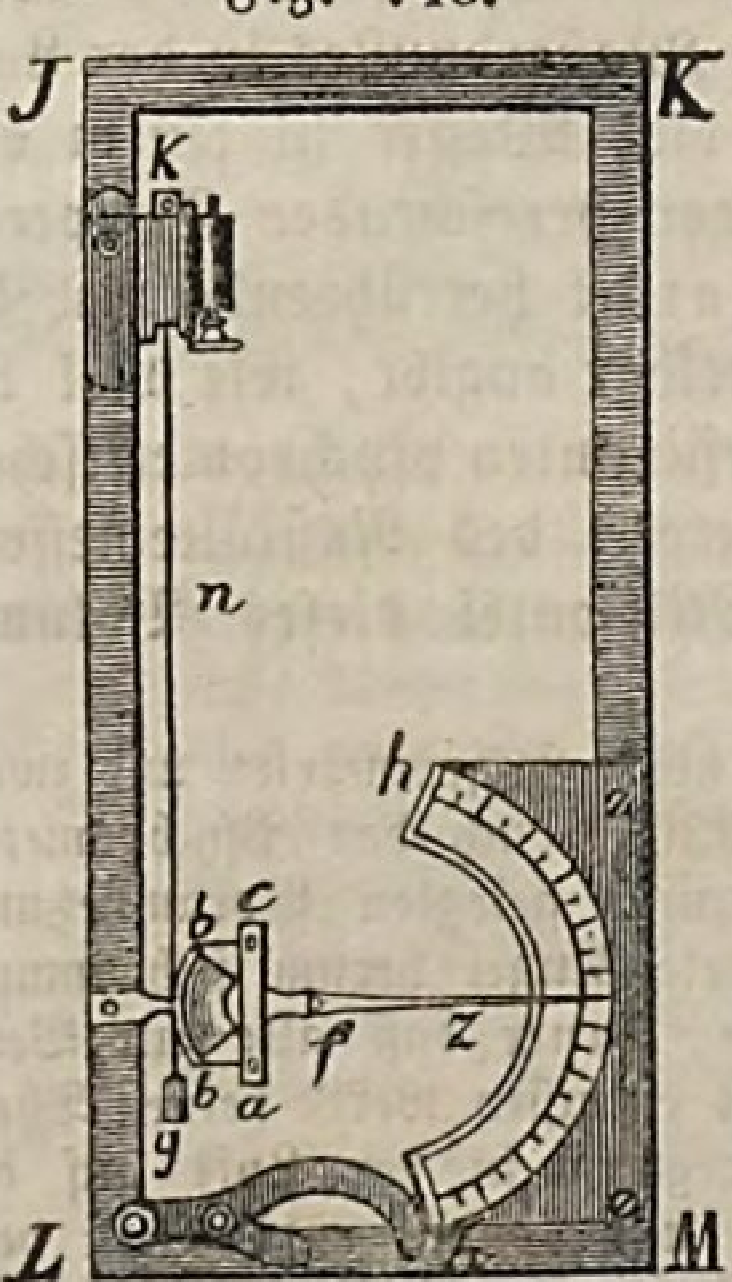
Regnault unterwarf in seinen oben citirten „Studien über Hygrometrie" und zwar in der Fortsetzung derselben (Compt. rend. von 1852. S. 930) auch das Psychrometer einer Kritik, hob darin die Unrichtigkeit der demselben zu Grunde gelegten Voraussetzung hervor, nämlich daß die Luftschichte zunächst um die befeuchtete Kugel herum sich immer mit Dunst sättige, und die Temperatur dieser Kugel annehme, ferner, daß alle zur Verdunstung des Wassers der Kugel nöthige Wärme nur der Luft entrissen werde (einen Theil dieser Wärme liefert offenbar die Kugel), zeigt, daß die Bewegung in der Luft auf die Anzeigen des Psychrometers einen sehr merklichen Einfluß übe und kommt endlich zu dem Schlusse, daß die Theorie dieses Instrumentes nicht so einfach sei, als man allgemein glaubt, und daß, um dasselbe für die Meteorologie wirklich nützlich zu machen, damit vorerst eine große Anzahl direkter Versuche in verschiedenen Klimaten und unter sehr abgeänderten Umständen vorzunehmen sei, um entscheiden zu können, ob sich für das Psychrometer eine einzige Formel aufstellen lasse.

Will man das Psychrometer zu fortgesetzten Hygrometerbeobachtungen gebrauchen, so ist es am besten, dasselbe in einem sehr geräumigen, aber durch umgebende Gebäude geschützten Ort, wo es gegen die direkte Einwirkung des Windes gesichert ist, aufzustellen, und es muß für den gewählten Ort die Constante, womit in der Formel auf S. 881 die Temperaturdifferenz $t - t_1$ zu multipliziren ist, vorerst durch vergleichende Versuche, am besten nach der chemisch-hygrometrischen Methode, bestimmt werden, da sich der besagte Coefficient nach Regnault's Untersuchungen mit der Oertlichkeit ändert. (So fand er ihn z. B. in einem kleinen verschlossenen Zimmer = 0·00128 und in einem großen verschlossenen Saale = 0·001, in demselben Saale mit gegenüber stehend geöffneten Fenstern = 0·0007, in einem großen viereckigen, von hohen Gebäuden eingeschlossenen Hof = 0·00074 u. s. w.) Zu dieser Bestimmung sollen vorzugsweise Zeiten gewählt werden, wo die Luft vom Sättigungspunkte fern ist, weil da das mit der Constanten (oder dem in Rede stehenden Coefficienten) behaftete Glied den größten Zahlenwerth besitzt. Es wird sogar zweckmäßig sein, die Constante für zwei verschiedene Strecken der Thermometerscale zu bestimmen, für die von 0° — 10° C., und dann für die von 10° — 30° C; man wende dann jede innerhalb der Temperaturgrenzen an, für welche sie bestimmt ist.

Von den eigentlichen Hygrometern sind jene Instrumente verschieden, welche die Luftfeuchtigkeit, ihre Zu- und Abnahme bloß anzeigen, ohne überhaupt oder in verläßlicher Weise zu deren Maßbestimmung zu führen, und welche daher nicht, wie dies häufig geschieht, auch Hygrometer zu nennen sind, sondern nur Hygroskope genannt zu werden verdienen. Sie beruhen alle auf der Eigenschaft gewisser Körper, der sogenannten hygroskopischen Substanzen, leicht Wasserdünste aus der Luft aufzunehmen und in sich zu verdichten, dadurch ihre Gestalt, ihre Dimensionen oder ihr Gewicht zu ändern und in dieser Beziehung für geringe Aenderungen des Feuchtigkeitszustandes der Luft empfindlich zu sein. Die erwähnenswerthesten Instrumente dieser Art sind Saussure's Haarhygroskop, Deluc's Fischbeinhygroskop, Lambert's Saitenhygroskop und Chiminello's Federkielhygroskop; aber auch sie haben schon deswegen keinen besonderen Werth, weil sie nicht in ihren Angaben übereinstimmend gemacht werden können und ihr Empfindlichkeitsgrad sich mit der Zeit stark ändert, so daß ein und dasselbe Exemplar unter ganz gleichen Umständen, aber zu verschiedenen Zeiten, verschiedene Anzeigen macht.

Das Saussure'sche Hygroskop (Fig. 748) besteht aus einem, durch Kochen in schwacher Kalilauge entfetteten, nachher in reinem Wasser ausgewaschenen und getrockneten feinen, weichen Haare vom Kopfe eines lebenden gesunden Menschen, welches an einem Ende in einer Klemme k unbeweglich eingeklemmt und mit dem andern Ende bei a an einem Zeiger z befestigt ist, der einerseits ein aus dessen Drehpunkt f beschriebenes Bogenstück b b trägt, welches längs der Convexität zwei Furchen neben einander hat, und andererseits über einem andern, eine Scale enthaltenden Kreisbogen h h spielt. In der einen Furche liegt das Haar und in der zweiten ein feiner Seidenfaden, der bei c festgemacht ist, und ein kleines (nur einige Grane schweres) Gewichtchen g trägt, welches den Zweck hat, das Haar immer (etwas) gespannt zu erhalten und, wenn es sich bei zunehmender Luftfeuchtigkeit verlängert, den Zeiger in Bewegung zu setzen. Der Messingrahmen IKLM endlich dient als Träger des Ganzen. Die äußersten Punkte der besagten Scale bilden der Punkt der größten Trockenheit und der Punkt der größten Feuchtigkeit; ihr Zwischenraum ist in 100 gleiche Theile getheilt. Der erstere (immer mit Null bezeichnete) Punkt wird dadurch bestimmt, daß man den ganzen Apparat unter eine Glasglocke stellt, die mittelst gebranntem Kalk oder Chlorcalcium oder concentrirter Schwefelsäure vollkommen ausgetrocknete Luft enthält, und so lange wartet, bis sich das Haar nicht mehr weiter verkürzt, der Zeiger z also den niedrigsten Stand angenommen hat, und zur Bestimmung des Punktes der größten Feuchtigkeit wird der Apparat so lange unter einer mit Wasser abgesperrten oder inwendig benäßten Glocke belassen, bis das Haar sich nicht mehr verlängert, also z auf h h den höchsten Punkt erreicht hat, der dann mit 100 bezeichnet wird. — Das Saussure'sche

Fig. 748.

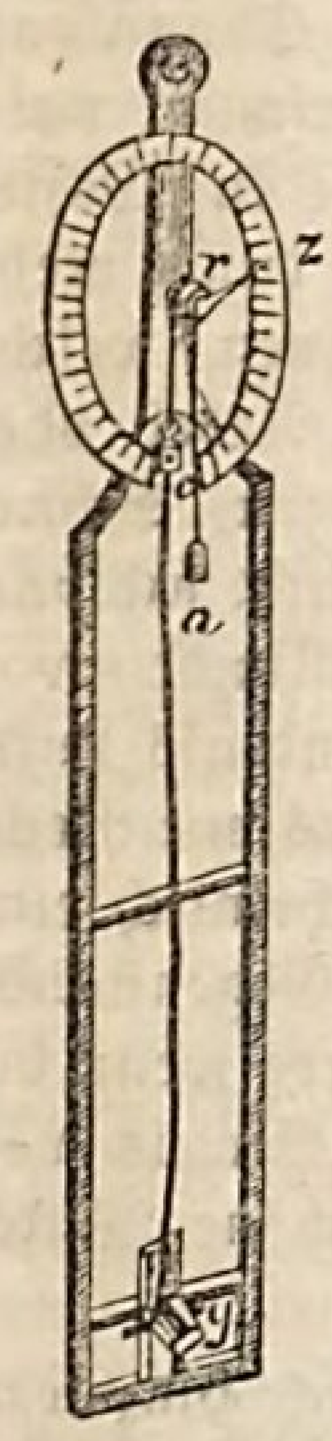


Instrument ist unmittelbar nur in dem Falle ein Hygrometer im wahren Sinne des Wortes, wenn es auf den Punkt der größten Feuchtigkeit zeigt, weil dann die Dünste in der Luft das der herrschenden Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft besitzen und daher von dem Haare in der zu seiner Sättigung nöthigen Menge verdichtet werden können.

Uebrigens stimmen, nach Regnault, Haarhygroskope, construirt mit einer und derselben Art Haare, die auch in derselben Operation entfettet wurden, in den Anzeigen ziemlich überein, während mit Haaren von verschiedener Natur und verschiedener Zubereitung construirte in ihren Angaben sehr differiren können, selbst wenn sie an den Fundamentalpunkten übereinstimmen.

Deluc's Fischbeinhygroskop, in Fig. 749 abgebildet, unterscheidet sich von dem Saussure'schen Hygroskope wesentlich nur dadurch, daß es als hygroskopische Substanz anstatt des Haares einen (etwa 8″ langen und 0·5‴ breiten) Fischbeinstreifen cy enthält, welcher von einem glatten Kieferstücke nach der Richtung der Querfibern abgeschnitten, mit dem untern Ende bei y und am obern in einem kleinen Zängelchen c eingeklemmt ist, welches an einem feinen Faden hängt, der am Umfange einer kleinen Rolle r festgemacht ist und in einer Furche an diesem Umfange liegt. Das Gewichtchen a, welches an einem andern, in entgegengesetztem Sinne gehenden Faden hängt, der in einer zweiten, neben der ersten herlaufenden Furche liegt und am Rollenumfange befestigt ist, erhält den Fischbeinstreifen stets in schwacher Spannung und setzt den Zeiger z in Bewegung, wenn der eben besagte Streifen bei Zunahme der Luftfeuchtigkeit verlängert wird. Von den Grenzpunkten der Scale wird der mit Null bezeichnete Trockenheitspunkt auf ähnliche Weise, wie beim Saussure'schen Instrumente, und der Punkt der größten Feuchtigkeit, bei dem die Zahl 100 steht, durch Eintauchen des ganzen Apparates in Wasser bestimmt.

Fig. 749.



Das Darmsaiten- oder sogenannte holländische Hygroskop, beruhend auf der Eigenschaft dieser Saiten, sich bei größerer Feuchtigkeit mehr aufzudrehen, kommt in sehr verschiedenen Gestalten vor; den eigentlichen Bestandtheil daran bildet aber immer ein Darmsaitenstück, welches an einem Ende unbeweglich befestigt ist und am andern eine Vorrichtung trägt, welche, wenn sich die Saite je nach Zu- oder Abnahme der Luftfeuchtigkeit auf- oder mehr zusammendreht, in einem oder im entgegengesetzten Sinne bewegt wird. Die gewöhnlichste Form ist die eines kleinen Häuschens, in welchem das Darmsaitenstück lothrecht herabhängt und an seinem unteren Ende eine horizontale runde Pappscheibe trägt, auf welcher zwei Puppen, eine männliche mit einem Regenschirme und eine weibliche mit einem Sonnenschirme oder einem Fächer, jede Puppe an einer Thüre, stehen. Jenachdem sich nun die Saite aus oben angegebenem Grunde auf- oder zudreht, kommt die männliche Puppe aus ihrer Thüröffnung hervor und die weibliche zieht sich ins Innere des Häuschens zurück, oder es findet das Umgekehrte statt; ersteres soll auf Regen, letzteres auf heitere Witterung hindeuten. Bei den Hygroskopen, welche im gemeinen Leben als pappendeckelne Männchen vorkommen, die beim Eintritte feuchter Witterung ihren Kopf mit dem Hute, mit dem Regenschirme o. dgl. bedecken und im entgegengesetzten Falle Hut, Regenschirm u. s. w. vom Kopfe herabnehmen, werden diese Bewegungen ebenfalls durch Auf- und Zudrehen horizontaler Saitenstücke bewerkstelligt.

Chiminello's Federkielhygroskop wird dadurch erhalten, daß man einen unpräparirten Gänsefederkiel papierdünn schabt, ihn dann soweit mit Quecksilber füllt, daß, wenn man eine Glasröhre hineinsenkt, nachdem der Kiel oberhalb des Quecksilbers mit einem Seidenfaden oder dünnen Drahte an der Röhre quecksilberdicht festgebunden wurde, dieses in der Röhre ungefähr bis zur Mitte derselben aufsteigt, und endlich die Punkte der größten Trockenheit und der größten Feuchtigkeit durch Aussetzen des Kieles an die Sonnenstrahlen bei trockener Atmosphäre und durch Einsenken desselben in Wasser bestimmt, die Stellen, wo in beiden Fällen die Quecksilberoberfläche in der Röhre steht, wie bei Saussure's Hygroskop, mit 0 und 100 bezeichnet und ihren Abstand demgemäß eintheilt. Da der Kiel durch Feuchtigkeit ausgedehnt wird, so ist natürlich der mit 100 bezeichnete Punkt der unterste der Scale. Wilson substituirte dem Federkiel eine Rattenblase; Federkiele und Rattenblasen verlieren aber mit der Zeit ihre hygroskopische Beschaffenheit. Recht empfindliche Hygroskope geben die Grannen einiger Pflanzen, insbesondere die Granne der Samenhüllen des wildwachsenden Erodium cicutarium (Reiherschnabel). Die Hygroskope haben dann gewöhnlich die Gestalt einer Büchse, in deren Boden, rechtwinklig gegen denselben, die Granne festgemacht ist, die mit ihrer Spitze über Graden spielt, in welche der Boden getheilt ist. Unter den übrigen, insbesondere auch jenen Hygroskopen, bei welchen die hygroskopische Substanz ein dem Mineralreiche angehöriger Körper ist, fanden die meiste Anwendung das Badeschwamm- und das Schieferstein-Hygroskop, welche der Hauptsache nach dadurch erhalten wurden, daß man

an dem einen Arm eines kleinen Wagebalkens ein in Salmiaklösung getränktes, und nachher wohl getrocknetes Badeschwammstück, oder ein frisch ausgeglühtes Stück einer gewissen Art bläulichen Thonschiefers aufhing, und durch ein Gegengewicht am andern Arm equilibrirte, wodurch man den Punkt der größten Trockenheit erhielt. Je größer dann der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre wurde, desto mehr nahm das Schwamm- oder Schieferstück am Gewichte zu und diese Zunahme wurde durch die Bewegung der Zunge des Wagebalkens oder eines in seiner Verlängerung angebrachten Zeigers angegeben.

386. Anwendung der Verdunstungslehre zur Erklärung gewisser Erscheinungen in der Atmosphäre. Der Feuchtigkeitsgrad der Atmosphäre, von welchem im Vorhergehenden die Rede war, ist es, welcher einerseits heitere und trockene Luft, andererseits trübes nasses Wetter, Nebel, Wolken u. s. w. begründet. Je größer dieser Feuchtigkeitsgrad ist, d. h. je mehr die Größe der den Dünsten in der Luft wirklich eigenen Spannkraft dem der herrschenden Lufttemperatur entsprechenden Spannkraftsmaximum nahe kommt, desto leichter kann (durch Verdichtung) ein Theil der Dünste in Wasser verwandelt werden, welches, in kleinen Tröpfchen sich ausscheidend, dann mehr weniger die Luft trübt (zu Folge der zahllosen, theilweisen Reflexionen, welche die Lichtstrahlen an diesen Tröpfchen erfahren), in derselben als Nebel oder Wolken erscheint, oder sich als Thau oder Reif absetzt, oder als Regen, Schnee oder Hagel herabfällt. In Dunstform ist das Wasser in der Luft nicht sichtbar, erhöht im Gegentheil die Durchsichtigkeit derselben, weil Abwechslungen von Luft- und Dunsttheilchen ein für das Licht viel homogeneres Mittel sind als Lufttheilchen und leere Räume zwischen denselben. Deswegen sieht man es mit Recht als Zeichen großer Luftfeuchtigkeit und demnach als Vorbote wahrscheinlich eintretenden schlechten Wetters an, wenn Berge und andere entferntere Gegenstände recht klar und nahe erscheinen, während das Entgegengesetzte, besonders wenn die Berge sich wie in einen sehr dünnen Schleier gehüllt zeigen, als Beweis von Lufttrockenheit und als Zeichen angesehen wird, daß die bestehende schöne Witterung noch fortdauern werde.

Nebel und Wolken. Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe (durch Hinzukommen von neuen Dünsten, durch Abkühlung u. s. w.) mitten in der Luft geschieht, so daß die dabei sich bildenden, äußerst kleinen Wassertröpfchen in der Luft schwimmen und dieselbe mehr weniger undurchsichtig machen, so entstehen, je nachdem die besagte Verdichtung u. s. w. in Luftschichten zunächst über der Erdoberfläche, oder in den höheren Luftregionen stattfindet, Nebel oder Wolken. In der That ist eine Wolke nichts anders, als ein hochschwebender Nebel, und umgekehrt der Nebel eine auf der Erde aufliegende Wolke, wie man sich beim Besteigen eines in Wolken gehüllten Berges überzeugt, indem man in der Region, wo vom Fuße des Berges aus Wolken gesehen wurden, gewöhnlichen Nebel findet.

Der Regen entsteht, wenn durch fortdauernde Condensation von Wasserdünsten und durch Zusammenfließen einzelner der so entstandenen kleinen Tröpfchen Wassertropfen von solcher Größe sich bilden, daß sie in der Luft nicht mehr schwebend erhalten werden können, sondern herabfallen. Aus je größerer Höhe diese Tropfen kommen, desto mehr vergrößern sie sich beim Herabfallen, indem sie auf ihrem Wege durch Abkühlung Dunst in Wasserform aus der Luft ausscheiden und dieses Wasser aufnehmen. Deswegen haben die Regentropfen in der heißen Zone, wo die Wolken wegen der daselbst herrschenden größeren Luftwärme sehr hoch stehen, gewöhnlich eine so bedeutende Größe. Am Aequator beträgt ihr Durchmesser nicht selten 1 Zoll. Die Hauptursache der Nebelbildung ist das Zusammentreffen der aus irgend einer Quelle kommenden Dünste mit kälterer Luft. Daher kommen die Nebel, welche im Winter und bei eintretenden kalten Luftströmungen entstehen oder im Sommer nach Sonnenuntergang über Gewässern sich zeigen, (indem die hier vorhandenen gesättigten Dünste durch die nach Untergang der Sonne vom Lande kommende kältere Luft abgekühlt werden). Eben so entstehen bei jeder Mischung zweier Luftmassen, die vom Punkte der größten Feuchtigkeit nicht weit entfernt, aber bedeutend verschiedener Temperatur sind, immer Wolken, wie oft plötzlich auf Bergen, wo die kältere Luft freier zu kann. Die sehr kleinen Tröpfchen werden aber schwebend erhalten: durch den Luftwiderstand, den sie wegen ihrer im Verhältniß zur Masse großen Oberfläche nicht überwinden können; durch die in der Atmosphäre immer aufsteigenden Ströme warmer Luft, welche durch Gegenwirkung das Fallen

der Wassertröpfchen hindern, endlich, weil sie die Luftregion, in der sie sich befinden, für die Sonnenstrahlen weniger durchdringlich machen, was zur Folge hat, daß diese Region mehr erwärmt, hierdurch spezifisch leichter wird, als die sie umgebende Luft, in dieser daher in die Höhe zu steigen sucht.

Schnee und Hagel. Die den Regen liefernden Wolken (die Regenwolken) schweben zwar gewöhnlich niedrig, befinden sich aber doch in der Regel immer noch in der Luftregion, in welcher die Temperatur nie den Aufthauungspunkt übersteigt, ja nicht einmal erreicht. Werden daher hier die Dünste zu Wasser condensirt, so gefriert dieses, thaut aber beim Herabfallen wieder auf, wenn die unteren Luftschichten eine hierzu hinreichend hohe Temperatur haben: im entgegengesetzten Falle kömmt es entweder in Flockengestalt, als Schnee, oder, falls nur ein theilweises Aufthauen und dem zu Folge ein Zusammensintern der Flocken statt gefunden hat, als sogenannter Kraupenregen herab. Aus dem Gesagten leuchtet von selbst ein, warum auf hohen Bergen Schnee fällt, während es in niederen Gegenden regnet; warum es in der kalten und in einem großen Theil der gemäßigten Zone zur Winterszeit bis in die niedrigsten Gegenden herab, hingegen in den heißen Ländern gar nie schneit. Vom Hagel wurde bereits an einem andern Orte (S. 589) gehandelt.

Thau und Reif. Nach heiteren Tagen und bei ruhiger Luft werden, im Schatten oft schon vor Sonnenuntergang, nach Sonnenuntergang aber früher oder später an allen hinreichend freien Orten, die meisten Gegenstände der Erdoberfläche feucht und endlich ganz mit Wassertropfen überzogen. Dieser wässerige Niederschlag, der in der Regel die ganze Nacht hindurch immer zunimmt, heißt Thau. Gefriert dieser, indem nach dessen Entstehung die Temperatur unter 0° herabsinkt, so erscheint er dann als Reif. Der Erfahrung gemäß fällt in heiteren windstillen Nächten der Thau am reichlichsten, schon eine geringe Bewölkung des Himmels mindert ihn, bei ganz umwölktem Himmel und in eingeschlossenen Räumen, wo hohe Gebäude oder andere Gegenstände den Himmel decken u. s. w., kann er nur sehr sparsam oder gar nicht entstehen. Er bildet sich in größerer Menge nach heißen Tagen und bei größerem Feuchtigkeitszustande der Luft und in wasserreichen Gegenden, und erscheint reichlicher nach, als vor Mitternacht. Auf dem Erdboden befindliche Körper mit glatter Oberfläche werden weniger bethaut, als solche, die vom Boden entfernt, frei in der Luft und an der Oberfläche rauh sind. Alle diese Erscheinungen finden ihre Erklärung, welche zuerst Wells gegeben hat, in nachstehender Weise. Die Gegenstände auf und über dem Erdboden erkalten, wie die Beobachtung mit dem Thermometer darthut, nach Sonnenuntergang, vorausgesetzt, daß der Himmel nicht ganz umwölkt ist, um einige, ja oft 7—8 Grade unter die Temperatur der Luft, indem sie nämlich Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlen und dieselbe nicht wieder ersetzt erhalten, (was aus dem „über strahlende Wärme" später Folgenden gehörig verständlich werden wird), kühlen dann auch die sie zunächst umgebenden Luftschichten ab, und, wenn diese Abkühlung den Thaupunkt des in diesen Schichten enthaltenen Wasserdunstes erreicht, geht dieser zum Theil in Wasser über, welches sich auf den nahen Gegenständen absetzt.

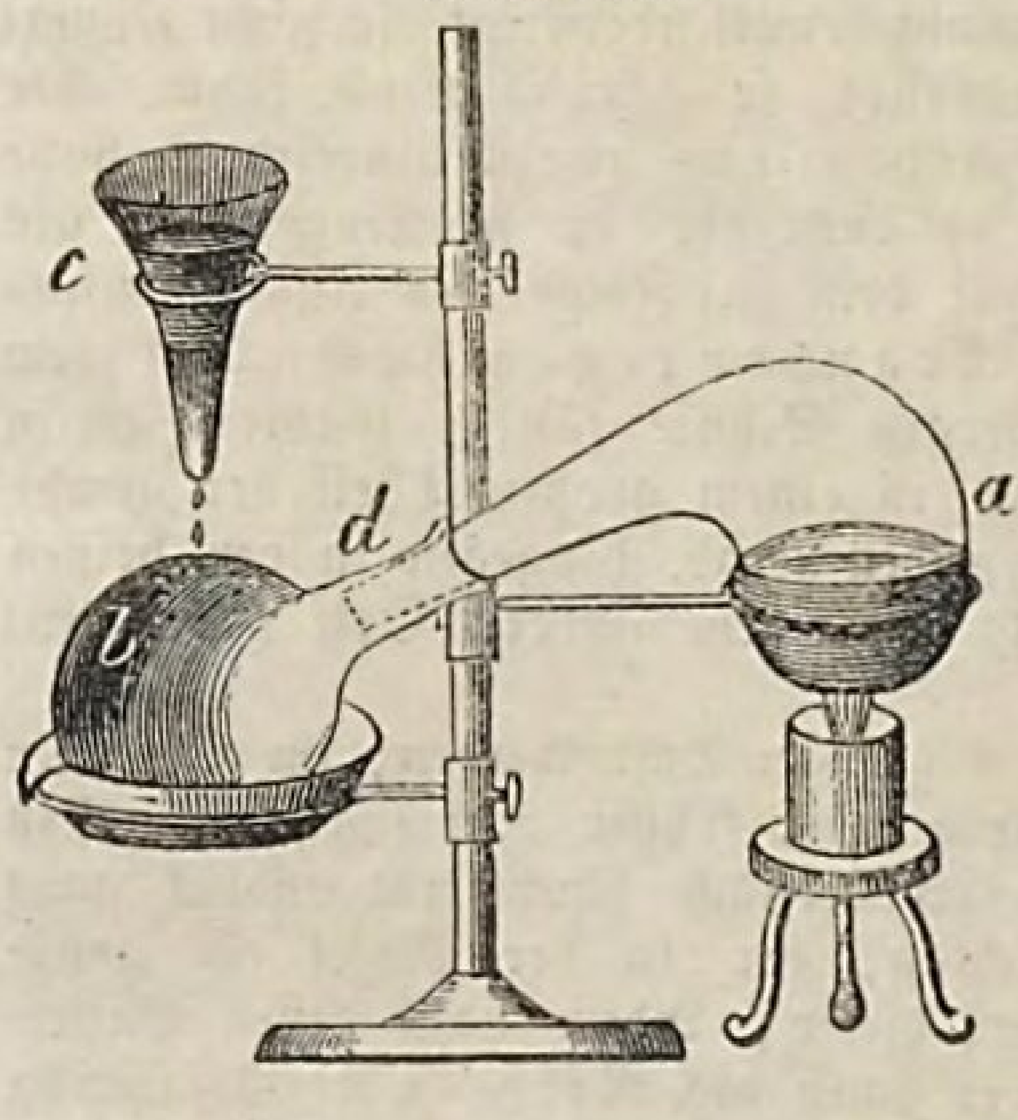
Da unter sonst gleichen Umständen die aus der besagten Wärmestrahlung resultirende Erkaltung bei rauhen, und von der Erdoberfläche entfernten Körper mehr beträgt als bei glatten und auf dem Erdboden befindlichen, auch mit der Dauer der Ausstrahlung (die Nacht hindurch) zunimmt und desto beträchtlicher wird, je reiner und weniger gedeckt der Himmel ist; da ferner während heißer Tage, und in wasserreicheren Gegenden sich mehr Dunst bildet, die Atmosphäre also feuchter ist, bei größerem Feuchtigkeitsgrade der Luft aber der Thaupunkt der Dünste in ihr durch geringere Abkühlung erreicht wird; so sieht man, daß die Wells'sche Theorie des Thaues rücksichtlich aller Hauptpunkte dieses Phänomens völlig genügt.

387. Anwendung des Verdampfens bei der Destillation.

Der Destillationsprozeß hat zunächst den Zweck, bei einem Gemenge tropfbarer Flüssigkeiten oder solcher und fester Substanzen einen flüchtigen Bestandtheil von den minder oder nicht flüchtigen zu scheiden, und besteht der Wesenheit nach darin, daß man den abzuscheidenden Bestandtheil durch gehörige Erhitzung des betreffenden Gemenges in Dampf und diesen dann durch Abkühlung wieder in den tropfbaren Zustand verwandelt. Da, wenn der besagte Bestandtheil einmal seinen Siedpunkt erreicht und lebhaft zu verdampfen angefangen hat, alle dem Gemenge weiter zufließende Wärme zur Fortsetzung dieses Verdampfens verwendet (gebunden) wird, so kann das Gemenge, so lange es noch von diesem Bestandtheil enthält, keine höhere Temperatur annehmen, es kann also keiner der andern min-

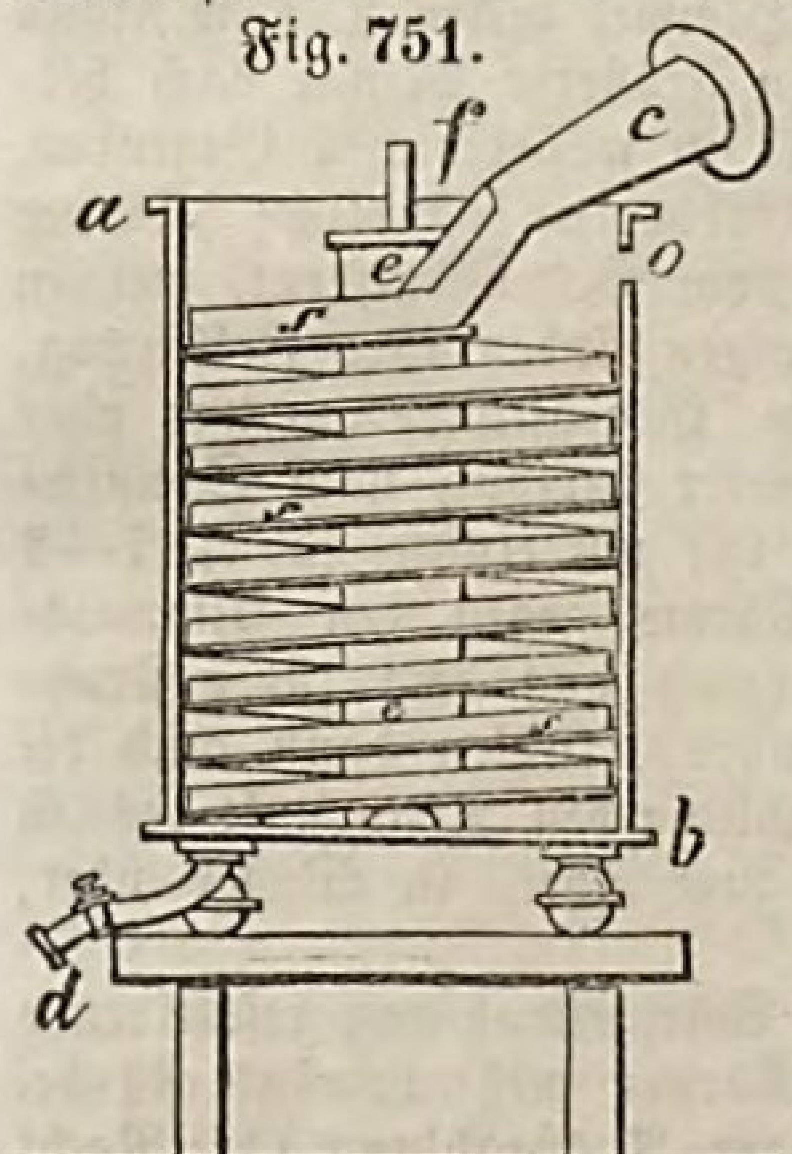
der flüchtigen (erst bei höheren Temperaturen siedenden) Bestandtheile den zu seiner Umwandlung in Dampf nöthigen Siedpunkt erreichen, sie bleiben daher alle im tropfbaren oder festen Zustande zurück, während der besagte flüchtigere in Dampfform entweicht.

Fig. 750.



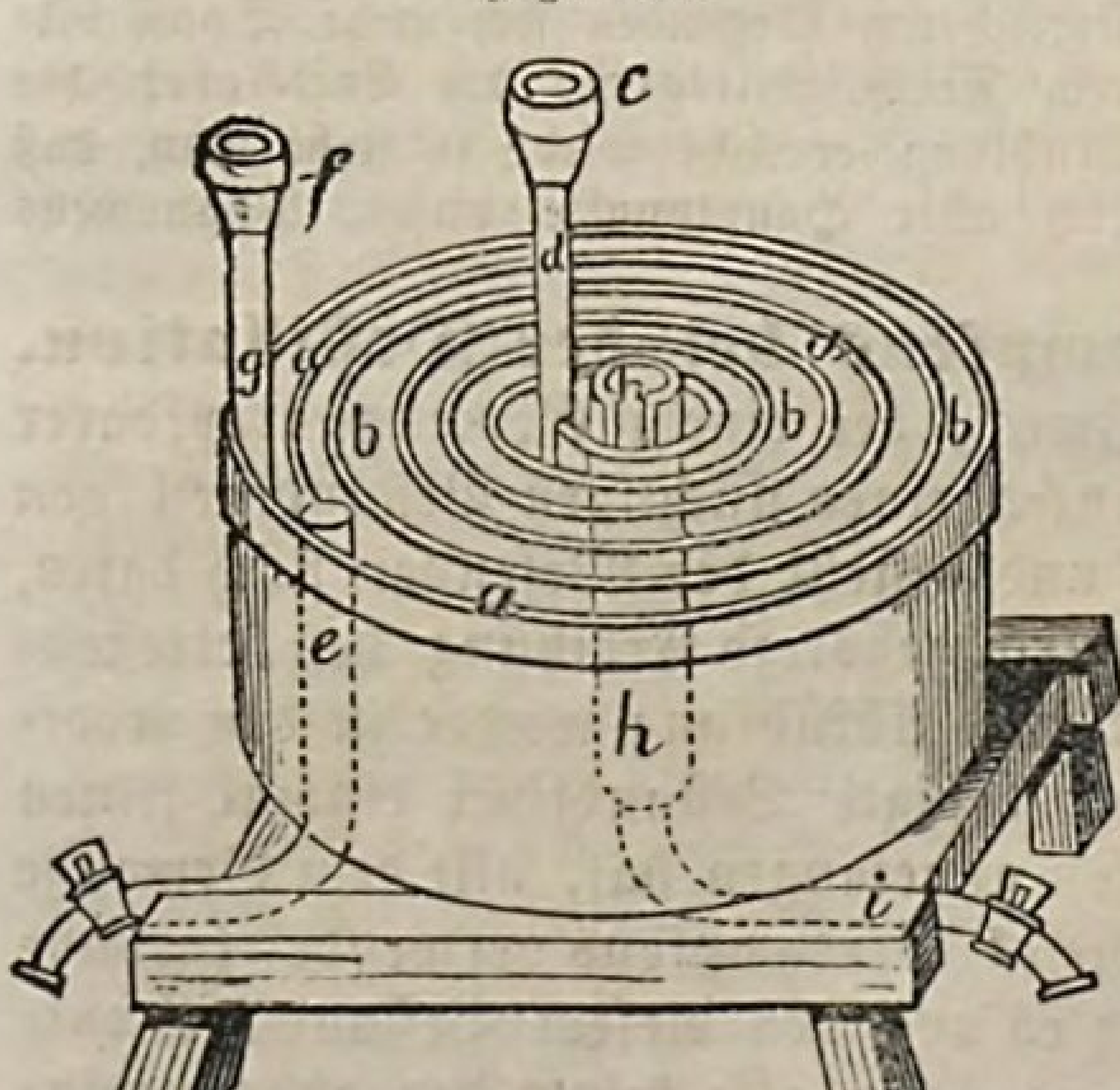
Bei Destillationen im Kleinen geschieht am gewöhnlichsten die Erhitzung des betreffenden Gemenges in Retorten (a Fig. 750), und die Condensirung des entweichenden Dampfes in einem ballonartig, oder anders passend gestalteten Gefäße (d), welches die **Vorlage** heißt und durch fortwährendes Auftröpfeln kalten Wassers aus einem Trichter c od. dgl. auf einen Ueberzug b aus Fließpapier, Leinwand, einem Netze o. dgl. kühl erhalten wird. Im Großen geschieht die Destillation aus eigenen Kesseln oder sogenannten **Destillirblasen**, und die Condensirung des Dampfes meistens in einem, stets von kaltem Wasser umgebenen Schlangenrohre aus Kupfer oder Zinn. Die Kessel oder Blasen können verschieden eingerichtet, sollen aber, aus Rücksicht auf Brennstoff- und Zeit-Oekonomie, immer so beschaffen sein, daß die der Destillation zu unterwerfende Masse darin an möglichst großer Fläche mit dem Feuer in Berührung steht. Bei den Schlangenrohr-Condensatoren, wo es ebenfalls wesentlich ist, daß den aus dem Kessel entweichenden

Fig. 751.



Dämpfen eine möglichst große Berührungsfläche mit dem Kühlwasser geboten werde, ist es überdies nothwendig, daß dieses die Schlangenröhre umgebende Wasser continuirlich in dem Maße erneuert wird, als es bei der Condensirung der Dämpfe sich erwärmt (**384**). Am zweckmäßigsten geschieht diese Erneuerung vom Boden des Kühlapparates aus nach aufwärts, weil sonst das kalte Wasser, indem es als spezifisch schwerer in dem bereits erwärmten zu Boden sinken müßte, schon allein durch letzteres erwärmt würde. Einen diesen Bedingungen entsprechend construirten Kühlapparat sieht man in Fig. **751**, wo s, s, s . . . das Schlangenrohr, a b ein dasselbe umgebendes Gefäß fürs Kühlwasser (den Mantel) und c den Anfang der Schlange darstellt, wo die zu condensirenden Dämpfe eintreten, und welcher mit dem Kessel in Verbindung gesetzt wird. Zum Einführen des kalten Wassers dient die Röhre f, die in der Mitte des weiteren Cylinders e, e hinab, durch dessen Boden wasserdicht hindurchgeht und dann trichterförmig in den Mantel a b nahe am Boden einmündet. Der ringförmige

Fig. 752.



Zwischenraum zwischen f und e, e verhütet die Erwärmung des durch f fließenden Wassers. Das erwärmte Wasser fließt durch eine über der obersten Schlangenwindung im Mantel vorhandene Seitenöffnung o ab. Durch die Pipe d fließt das Destillat ab. Daß dieser Apparat sich auch zum Kühlen tropfbarer Flüssigkeiten (S. 869) z. B. der Bierwürze, recht gut eigne und daß diese dann durch das Schlangenrohr zu leiten seien, fällt von selbst in die Augen. Einen andern, dem letzteren Zweck recht gut entsprechenden Apparat zeigt die Fig. **752**. Er besteht aus einem hohen, engen, spiralförmig gewundenen Kanale a, a, a aus Blech, durch welchen man die zu kühlende Flüssigkeit leitet, während durch den zweiten, weiteren spiralförmigen Kanal b, b, den der Zwischenraum der Windungen des ersten bildet, das Kühlwasser, und zwar im Vergleich mit der

andern Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung fließen gemacht wird. Eintreten in den Kanal a läßt man die zu kühlende Flüssigkeit durch den Trichter c und die Röhre d, und durch die mit einem Hahne versehene Röhre e läuft sie aus demselben wieder ab. In beiden Röhren d und e mündet der Kanal a an der Seite seiner ganzen Höhe nach ein. Das Kühlwasser tritt in den Kanal b durch den Trichter f und die Röhre g ein und durch das der Länge nach aufgeschlitzte Rohr h und die mit einer Pipe versehene Röhre i wieder aus.

388. Anwendung der Spannkraft des Dampfes als bewegende Kraft. Bei der für den Prozeß des Bleichens (der Kattune u. s. w.) so wichtigen Operation des Bäuchens oder Bückens wird das dabei sehr oft nach einander zu wiederholende Aufgießen der heißen Lauge auf die betreffenden Stoffe dadurch bewerkstelligt, daß der im Kessel, worin die Lauge erhitzt wird, über derselben sich anhäufende Dampf durch seine Spannkraft drückend auf die Oberfläche der Lauge wirkt, diese durch ein aus dem besagten Kessel über die zu bäuchenden Stoffe aufsteigendes Rohr emportreibt, am obern regenschirmartig sich ausbreitenden Ende desselben ausfließen und so über die ganze darunter befindliche Lage dieser Stoffe sich ergießen macht. Bekanntlich gibt es eine Art Kaffeemaschinen, bei welchen in ähnlicher Weise das siedende Wasser durch den aus demselben entwickelten und auf die Oberfläche drückenden Dampf über den gebrannten und geriebenen Kaffee aufgegossen wird. Ebenso wird nicht selten, z. B. in Zuckerfabriken, Badehäusern u. dgl., vermittelst des Dampfes heißes Wasser, indem er auf dessen Oberfläche drückt, in höhere Stockwerke 2c. 2c. emporgetrieben. In den Dampfgeschützen (Dampfflinten, Dampfkanonen) wird die Pulverkraft durch die Spannkraft des Dampfes ersetzt u. s. w.

Die wichtigste Rolle spielt als bewegendes Agens der Dampf unstreitig in den Dampfmaschinen, worin er einen Kolben in eine geradlinige, abwechselnd hin und zurück gehende, oder in eine, stets im nämlichen Sinne rotirende Bewegung versetzt, welche dann durch entsprechende Mechanismen und in erforderlicher Art auf Hämmer-, Walz- und Mahlwerke, Webstühle, Spinn- und andere in Betrieb zu erhaltende Maschinen (bei den Dampfhämmern, in den Dampfmühlen, den mechanischen Webereien und Spinnereien u. s. w.), oder auf die Räder eines Wagens oder Schiffes (bei den Lokomotiven oder Dampfschiffen) übertragen wird. Die wesentlichsten Bestandtheile, von denen keiner an einer Dampfmaschine fehlen kann, sind 1.) der Dampferzeuger (Generator, Kessel), 2.) der Dampfcylinder, in welchem der Dampf, aus dem Kessel dahin gelangend, die oben besagte geradlinige hin und zurück gehende oder rotirende Bewegung eines Kolbens bewirkt (letztere Bewegung in den sogenannten rotativen Dampfmaschinen, von welchen, jedoch erst später, besonders gehandelt werden wird), und 3.) dieser Kolben selbst. Jenachdem sowohl die hin als die zurück gehende Bewegung des Kolbens oder nur die eine dieser Bewegungen durch den Dampf erzeugt wird, heißt die Dampfmaschine doppelt oder einfach wirkend.

Maschinen letzterer Art werden nur äußerst selten mehr angewendet und zwar bloß zur Förderung des Grubenwassers aus den Bergwerken und zum Heben der Salzsoolen, indem sie dazu ganz brauchbar und übrigens in soweit vortheilhaft sind, als sie im Vergleich mit einer doppelt wirkenden Maschine weniger Brennmaterial erfordern, in der Einrichtung viel einfacher sind und einen kleineren Dampfkessel nöthig haben, mithin auch weniger Raum einnehmen, während sie zur Verrichtung anderer mechanischer Arbeiten fast ganz unbrauchbar sind, weil diese Arbeiten fast alle die Umsetzung (Umwandlung) der vom Kolben ausgehenden geradlinigen Bewegung in eine kreisförmige oder rotirende nothwendig machen, was bei der einfachwirkenden Maschine zwar möglich ist, aber, wenn die erzeugte Bewegung immer gleichförmig und mit gleicher Kraft vor sich gehen soll, nur dadurch erreicht werden kann, daß man eine große träge Masse mit in Bewegung setzt, welche einen beträchtlichen Theil der Dampfkraft in Anspruch nimmt, und so der Nutzbarmachung entzieht. Bei den in Rede stehenden Maschinen treibt nämlich der in den vertikalstehenden Dampfcylinder über den Kolben eindringende Dampf den letzteren nur abwärts; der Gang desselben nach aufwärts

wird durch ein entsprechend großes Gegengewicht bewirkt, welches an dem einen Ende eines an dem andern Ende mit der Kolbenstange vereinigten Hebels (des Balanciers) angebracht ist, und indem es, wenn der Kolben den Boden des Cylinders erreicht hat und in diesem Augenblicke der Zutritt des Dampfes in den Cylinder über dem Kolben abgesperrt worden, sinkt, und den letzteren in die Höhe zieht. Es muß daher durch den Dampf nicht nur dieses Gewicht, dessen Größe sich nach der Kraft richtet, womit die Maschine continuirlich arbeiten soll, gehoben, sondern auch die, mit diesem Gewichte im Verhältnisse stehende Masse des Schwungrades in Bewegung gesetzt werden, welches zur Ausgleichung der Ungleichförmigkeiten im Gange der Maschine immer vorhanden sein muß.

Beide Arten von Dampfmaschinen verdanken jene Vervollkommnung, die sie einer wirklich nützlichen Anwendung überhaupt fähig machte, so wie die Wesenheit der Einrichtung, in welcher sie noch heut zu Tage angewendet werden, dem Schottländer James Watt, so daß dieser als zweiter Erfinder derselben und als eigentlicher Schöpfer der jetzt im Gebrauch befindlichen Dampfmaschinen angesehen werden muß *). Wir wollen nur die gewöhnlich in Anwendung vorkommenden Dampfmaschinen, nämlich die doppelt wirkenden in ihrer Haupteinrichtung und Wirkung näher kennen lernen. Sie sind entweder sogenannte Condensations- oder Hochdruckmaschinen, je nachdem der Dampf, welcher den Kolben in einer Richtung durch den Cylinder bewegt hat und dann aus letzterem entfernt werden muß, um der Kolbenbewegung nach der entgegengesetzten Richtung nicht als Hinderniß im Wege zu stehen, immer in ein eigenes Behältniß, Condensator genannt, abfließen gemacht und dort zu Wasser condensirt wird, oder aber eine solche Condensirung nicht stattfindet, sondern der Dampf, nachdem er im Cylinder bereits ausgedient hat, aus diesem unmittelbar in die freie Luft oder durch Röhren an einen Ort hingeleitet wird, wo man denselben noch weiter, zum Erwärmen der Luft oder sonst wie benützt **). Ferner läßt man heut zu Tage oft den Dampf nicht

---

*) Will man eine Vorrichtung, bei welcher der Wasserdampf nur überhaupt eine Bewegung hervorzubringen vermag, schon eine Dampfmaschine nennen, so ist Hero von Alexandrien (circa 100 J. v. Christo) der Erfinder dieser Maschinen. Im Jahre 1690 veröffentlichte der Franzose Papin, der sich schon längere Zeit mit der Wirkung eingeschlossener Dämpfe beschäftigte, auch der Erfinder des nach ihm benannten Digestors (S. 861) ist, Versuche, wobei er den Dampf in einem Cylinder auf eine Art Kolben wirken ließ, und fast um dieselbe Zeit construirte ein englischer Capitän, Namens Savary, auch eine, obwohl nichts Kolbenartiges vorhanden war, auf ähnliche Ideen basirte Maschine und nahm im Jahre 1698 ein Patent auf dieselbe. Mit diesen Maschinen beginnt nun die Geschichte der eigentlichen Dampfmaschinen und es ist in der That schwer zu entscheiden, welchem der zwei letztgenannten Männer die Priorität der Erfindung gebührt. Gewiß ist, daß Ersterer seine Maschinerie nie wirklich anwandte, Letzterer hingegen die seine im Großen ausführte und zum Heben von Wasser benützte, und deswegen betrachtet man auch allseitig Savary als den Erfinder. So sinnreich dessen Maschine im Allgemeinen war, so hatte sie doch große Uebelstände an sich, brauchte außerordentlich viel Brennmaterial, war in großen Dimensionen schwer zu construiren und konnte das Wasser nur auf geringe Höhe heben. Es war daher natürlich, daß man sich viel mit der Verbesserung dieser Maschine beschäftigte und namentlich suchte man an ihr Papin's erste Idee einer Kolbenmaschine zu verwirklichen. Dieses gelang in entsprechender Weise zuerst den beiden Engländern Thom. Newcomen und John Cawley, und es muß ihnen in der That die Einführung der Dampfmaschinen mit Kolben zugeschrieben werden. Aber auch diese Maschinen waren in vielen Beziehungen, namentlich was die Condensation des Dampfes, nachdem er Dienste gethan hat, anbelangt, noch sehr unvollkommen. Alle Bemühungen, diese Unvollkommenheiten zu beheben, blieben 70 Jahre lang erfolglos und die Maschinen behielten diese Zeit hindurch immer die nämliche Einrichtung, bis endlich Watt (1736 zu Greenock geboren) die Aufgabe in der schon oben angedeuteten vollkommenen Weise löste.

**) Dem eigentlichen Begriffe nach ist Hochdruckmaschine eine jede Dampfmaschine, in welcher der Dampf mit einem höheren ($1\frac{1}{2}$ bis 2 Atmosphären überschreitenden)

so lange in den Cylinder dem Kolben zuströmen, bis dieser seinen ganzen Hub oder Gang (den im Cylinder nach einer Richtung zurückzulegenden Weg) vollendet hat, sondern es wird der Dampfzufluß früher, z. B. nach vollendetem halben Hube abgesperrt und die Bewegung des Kolbens durch den noch übrigen Theil des Hubes der Expansion des im Cylinder abgesperrten Dampfes überlassen. Man sagt in diesem Falle, die Maschine arbeite mit Expansion, und heißt derartige Maschinen Expansionsmaschinen. Der aliquote Theil des Hubes, durch welchen der Kolben vermittelst Expansion getrieben wird, bestimmt die Größe dieser letzteren, welche übrigens constant oder variabel sein kann, so daß es Maschinen mit constanter und solche mit variabler Expansion gibt.

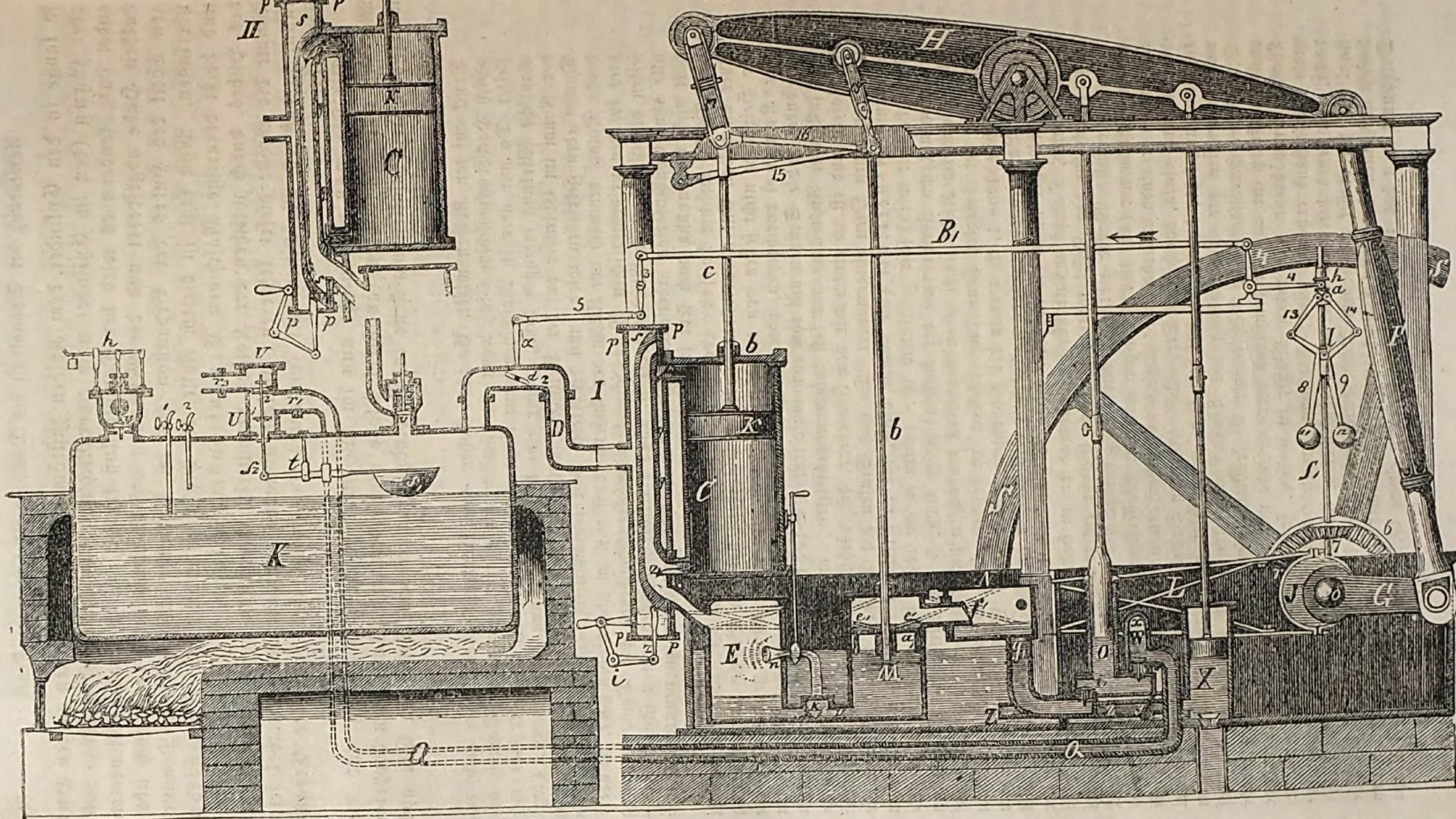
Die Fig. 753 versinnlicht nun im Wesentlichen die Einrichtung und die Wirkung einer stationären (an ihrem Platze verbleibenden) Watt'schen doppeltwirkenden Condensationsmaschine in Verbindung mit ihrem Kessel *). Der aus

---

Druck auf den Kolben wirkt. Es kann daher eine Condensationsmaschine auch zugleich Hochdruckmaschine sein, wenn sie nämlich mit stärker gespanntem Dampfe arbeitet. Da nun aber in Maschinen ohne Condensator der Dampf, damit er eine mechanische Wirkung erzeugen kann, immer eine höhere Spannung besitzen muß, (weil der Raum im Cylinder auf der Seite des Kolbens, nach welcher dieser durch den Dampf eben getrieben wird, mit der freien Luft communicirt, der den Kolben treibende Dampf demnach vor Allem den äußeren Luftdruck zu überwinden hat), da überdies bei den ursprünglichen Watt'schen Condensationsmaschinen die Dampfspannung selten die Größe einer Atmosphäre (S. 234) erreichte; so pflegte man schon damals alle ohne Condensation arbeitenden Maschinen Hochdruckmaschinen zu nennen und behält diese Benennung auch jetzt immer noch bei.

*) Der Kessel, welcher koffer- oder wagenförmig gestaltet ist, oder die Gestalt eines an beiden Enden auswärts gewölbten Cylinders hat, der Behufs Vergrößerung der Heizfläche nicht selten von einem mitten durch seine ganze Länge gehenden Rohre (der Kanone) durchzogen, oder mit zwei unterhalb und ihm parallel hingehenden und durch hohle Stützen mit ihm communicirenden Siedröhren versehen ist, besteht jetzt fast ohne Ausnahme aus fest zusammengenieteten, mehrere Linien dicken Eisenblechtafeln und ist in einem mit dem Feuerherd, den nöthigen Feuerzügen und Schornstein versehenen Ofen eingemauert. Da das Sinken des Wassers im Kessel unter die sogenannte Feuerlinie (die höchste Linie, bis zu welcher der Kessel äußerlich vom Feuer bespielt wird) sehr gefährlich ist, indem es am ersten Veranlassung zu Kesselexplosionen (zum Zerspringen des Kessels) geben kann, so sind Mittel nöthig, um den Wasserstand im Kessel leicht jeden Augenblick beobachten und denselben fortwährend auf der Höhe der besagten Feuerlinie erhalten zu können. Zu ersterem Behufe dienen zwei Probierhähne 1, 2, wovon bei gehörigem (normalem) Wasserstande der obere mit dem Dampfraume und der untere mit dem Wasser im Kessel communicirt; fällt der Wasserspiegel unter die normale Höhe, so gibt auch der untere Hahn, wenn er geöffnet wird, Dampf anstatt Wasser, während bei zu hohem Wasserstande (aus welchem jedoch für den Kessel wenigstens keine Gefahr entspringt) der obere Hahn statt Dampf ebenfalls Wasser gibt. Ein anderes, gewöhnliches Mittel zu demselben Zweck ist der Schwimmer (S. 193), welcher mit dem Wasserspiegel fällt und steigt, und dieses, indem er einen außerhalb des Kessels und über demselben vorhandenen Hebel (mit dem er durch einen, durch eine Stopfbüchse gehenden Draht in Verbindung steht) dabei in Bewegung setzt, durch einen mit dem Hebel vereinigten Zeiger anzeigt. Am sichersten und bequemsten zur Beobachtung des Wasserstandes im Kessel sind jedoch die auf S. 167 der Hauptsache nach beschriebenen Wasserstandgläser. Um den Kessel zum jedesmaligen Ersatz für das in demselben verdampfende und als Dampf sich entfernende Wasser fortwährend mit neuem Wasser zu speisen, so daß beständig gerade der normale Wasserstand erhalten wird, hat man verschiedene mechanische Vorrichtungen erdacht, von denen hier nur eine der vorzüglicheren, nämlich die in der Fig. 753 versinnlichte, für Kessel mit hohem Dampfdruck bestimmte, beschrieben werden soll. Sie besteht aus einem im Kessel K enthaltenen Schwimmer s_1 an einem Hebel, der seinen Drehpunkt in t hat und am zweiten Ende in einem Gelenke mit der die zwei Klap-

Fig. 735.



diesem Kessel **K** durch das Dampfleitungsrohr **D** strömende Dampf gelangt zunächst in einen längs des Dampfcylinders **C** sich erstreckenden prismatischen

---

pen **1**, **2** tragenden Stange s_2 vereinigt ist. Es ist die Anordnung so getroffen, daß, wenn das Wasser im Kessel die normale Höhe und der Schwimmer s_1 den dieser Höhe entsprechenden Stand hat, die Klappe **1** geschlossen, die Klappe **2** aber offen ist, so daß von dem Wasser, welches dem Behältnisse UV durch die Seitenröhre r_1 vermittelst einer kräftigen Druckpumpe (die später mit dem Namen Speisepumpe bezeichnet ist) fortwährend zugeführt wird, nichts in den Kessel gelangen kann, sondern alles durch die offene Klappe **2** und die über derselben angebrachte Seitenröhre r_3 an irgend einen Ort einer andern Bestimmung hin abfließen muß, hingegen, wenn das Wasser im Kessel unter die normale Höhe und mit demselben zugleich auch der Schwimmer s_1 sinkt, (wo dann die Klappe **2** geschlossen wird), so lange aus dem Raume U Wasser durch **1** in den Kessel hineinbringt, bis darin wieder der Wasserstand die normale Höhe erreicht und der gehobene Schwimmer die Klappe **1** geschlossen hat.

Außer den bisher abgehandelten, zum Kessel gehörigen Theilen sind noch zwei wesentliche Vorrichtungen an demselben zu besprechen, nämlich das Manometer und das Sicherheitsventil. Das erstere, welches zum Anzeigen der Dampfspannung im Kessel dient, ist ganz ähnlich wie das Quecksilbermanometer eingerichtet und angebracht, das auf S. 303 als zur Bestimmung der Expansivkraft eines in einem Behälter eingeschlossenen Gases dienlich beschrieben wurde; es dürfte demnach hier keine neuerliche Beschreibung nöthig sein, sondern die bloße Bemerkung genügen, daß die Länge der am angeführten Orte mit a und b bezeichneten, Quecksilber enthaltenden Röhrenschenkel sich nach der größten Dampfspannung richtet, für welche der Kessel bestimmt ist, und daß, da für Dampf von höherer Spannung die besagten Schenkel der gekrümmten Röhre bedeutend lang sein müssen und aus Glas sehr gebrechlich wären, man die Röhre aus Eisen bestehen läßt und den Stand des Quecksilbers in derselben dadurch ersichtlich macht, daß man auf die Quecksilberoberfläche im offenen Schenkel b einen Schwimmer bringt und das obere aus b hervorragende Ende eines mit dem Schwimmer vereinigten Stabes längs einer Scale spielen läßt, oder es geht eine am Schwimmer festgemachte dünne Kette über eine oberhalb b angebrachte fixe Rolle und diese Kette trägt an ihrem zweiten Ende ein den Schwimmer nahe äquilibrirendes Gegengewicht, welches längs der Scale spielt und je nachdem die Dampfspannung im Kessel zu- oder abnimmt, sinkt oder steigt. Die Sicherheitsventile haben die Bestimmung, Dampfkessel-Explosionen zu verhüten, und nehmen unter allen zu diesem Zwecke erdachten Vorrichtungen die erste Stelle ein. Es muß daher jeder Dampfkessel wenigstens mit Einem solchen Ventile versehen sein (besser ist es deren zwei anzubringen). Sie bestehen der Hauptsache nach aus einer Klappe oder einem (konischen) Stempel, welche in eine Oeffnung der oberen Kesselwand passen, und durch ein unmittelbar aufgelegtes Gewicht oder durch einen über sie hingehenden, auf sie drückenden und am freien Ende belasteten einarmigen Hebel geschlossen erhalten werden, so lange der Ueberdruck des Dampfes über jenen der äußeren Luft auf die, (dem Dampfe dargebotene) Fläche der Klappe oder des Stempels den Druck, den das unmittelbar aufgelegte, oder das den Hebel belastende Gewicht ausübt, nicht überschreitet; sich aber sogleich öffnen und Dampf entweichen lassen, sobald der eben besagte Druck des Gewichtes, welches nach dem größten Dampfdruck ermessen wurde, den die Flächeneinheit des Kessels, ohne Gefahr, daß dieser zerspringe, ertragen kann, überschritten wird. Am Kessel K der Fig. **753** sind zwei solche Ventile anschaulich gemacht: ein in einem Gehäuse eingeschlossenes und daher nicht für Jedermann zugängliches ν (damit es nämlich nie aus Unvorsichtigkeit, Muthwillen u. s. w. über das Normale belastet werden kann) mit unmittelbarer Belastung m und ein zweites freies, zugängliches ν_1 mit belastetem Hebel h; beide Ventile sind jetzt in Oesterreich vorgeschrieben. Da die Möglichkeit vorhanden ist, daß ein Sicherheitsventil (z. B. wenn nicht gehörig nachgesehen wird und es einrostet oder aus Unvorsichtigkeit übermäßig belastet ist rc. rc.) seinen Dienst versagt, und da fast allen Kesselexplosionen eine ungewöhnliche Erhöhung der Temperatur des Dampfes vorausgehen muß, so wendet man als Schutzmittel außer Sicherheitsventilen auch noch Zapfen aus leichtflüssigen Metallgemischen an, indem man nämlich eine in der Dampffläche (in dem bloß mit dem Dampf in Berührung stehenden Theile) des Kessels absichtlich angebrachte Oeffnung mit einem Metallgemische ausgießt, welches schmilzt und den Dampf entweichen läßt, sobald die Temperatur des letzteren über jene hinaus-

Raum ppp, **Dampfkammer** genannt, und umgibt darin einen hohlen Schieber (die Schublade) ss, welcher, mit seinen 2 gegen den Dampfcylinder

---

geht, bei welcher er die Spannungsgröße erreicht, für die höchstens der Kessel eingerichtet ist. Solche Metallgemische von den verschiedenen erforderlichen Schmelzpunkten liefert die Legierung von Wismuth mit Blei und Zinn in verschiedenen Quantitätsverhältnissen. Gesetzt, der Dampf sollte in einem Kessel nie einen 3 Atmosphären übersteigenden Druck erreichen dürfen, so müßte der Metallzapfen bei 134° C. schmelzen und hätte aus 8 Theilen Wismuth, 2 Blei und 2 Zinn zu bestehen.

Nachdem wir nun die Sicherheitsventile und die Zapfen oder Scheiben aus leichtflüssigen Legierungen als Mittel gegen die Gefahr und Verderben bringenden Kesselexplosionen besprochen haben, wollen wir auch hören, aus welchen Ursachen diese oft trotz des Vorhandenseins der besagten Ventile und Zapfen dennoch eintretenden Explosionen entstehen können. Die Hauptursachen sind: 1. Einrosten der Ventile bei nicht sorgfältiger Ueberwachung, oder Ueberlastung derselben (aus Unvorsichtigkeit oder in der Absicht, die Maschine zu forciren, um, was zu Folge früherer Nachlässigkeit in der Bedienung des Kessels an Arbeit versäumt worden ist, wieder einzubringen u. s. w.), so daß der Dampf eine die Widerstandsfähigkeit des Kessels übersteigende Spannkraft annimmt; 2. momentane Bildung einer so großen Dampfmenge, daß die Auswege, welche das geöffnete Ventil und die durch das erfolgte Schmelzen des leichtflüssigen Zapfens entstandene Oeffnung ihm bieten, zu seinem Entweichen aus dem Kessel nicht hinreichen. Ad 1. Diese Ursachen fallen beim Vorhandensein leichtflüssiger Zapfen ganz weg, es müßte nur in der eben unter 1. erwähnten Absicht das Schmelzen der Zapfen durch beständiges Uebergießen mit kaltem Wasser verhütet werden, was jedoch nicht leicht unbemerkt geschehen kann und daher weniger vorauszusetzen ist. Im Falle des Nichtvorhandenseins eines solchen Zapfens ist das früher erwähnte unter Verschluß stehende und nur dem Werkführer oder Eigenthümer der Maschine zugängliche zweite Ventil und eine sehr oft zu wiederholende genaue Untersuchung desselben ein verläßliches Sicherheitsmittel. — Ad 2. Die dort besagte momentane Bildung einer übermäßig großen Dampfmenge kann durch plötzliches, sehr starkes Ueberhitzen des Kessels, welches jedoch nicht so leicht vorkommen wird, überdies aber auch dadurch veranlaßt werden, daß Theile des Kessels zunächst oberhalb der Linie, bis an welche das Wasser reicht, zum Glühen kommen und nun, während gleichzeitig der Dampf stark gespannt ist, das Sicherheitsventil geöffnet wird. Es wallt da nämlich das Wasser, indem dasselbe von dem starken Drucke auf die Oberfläche nun befreit ist, tumultuarisch auf, kommt mit den überhitzten Kesseltheilen in Berührung, und dadurch wird plötzlich so viel sehr stark gespannter Dampf erzeugt, daß die Oeffnung des Sicherheitsventils ihm keinen genügenden Ausweg bietet und die Wände des Kessels nachgeben müssen. Da das Glühendwerden der besagten Kesseltheile unmöglich ist, wenn der Kessel stets bis zur normalen Höhe, d. i. so hoch mit Wasser gefüllt ist, als er außen von der Flamme bespielt wird (indem da die Kesselwände alle ihnen zufließende Wärme mit dem Wasser theilen und mit demselben stets die nämliche Temperatur haben), so sieht man, in welch' hohem Grade eine regelmäßige Speisung des Kessels, so daß fortwährend der normale Wasserstand in demselben erhalten werde, und das Vorhandensein eines Wasserstandanzeigers wichtig ist. Auch begreift man, daß, wenn das besprochene Glühen bereits eingetreten ist und bemerkt wird, zur Verhütung der drohenden Gefahr ja nicht das Sicherheitsventil geöffnet oder sonst eine plötzliche Ableitung des Dampfes vorgenommen werden dürfe, (da dies, anstatt der Explosion vorzubeugen, dieselbe gerade herbeiführen würde), sondern nur möglichst schnell das Feuer auszulöschen sei. — Das zum Speisen der Kessel verwendete Wasser ist in der Regel nicht rein, sondern enthält Salze, die sich bei dessen Verwandlung in Dampf im Kessel zu Boden setzen, die innere Wand mit einer steinartigen Kruste (dem Kesselsteine) überziehen, welche als schlechter Wärmeleiter macht, daß der damit überzogene Theil der Kesselwand in jedem Augenblicke vom Feuerherde her mehr Wärme empfängt, als er durch den schlecht leitenden Kesselstein ans Wasser abgeben kann, so daß seine Temperatur über jene des Wassers im Kessel immer mehr und nicht selten bis zum Rothglühen steigt. Entsteht dann zufällig in der Kruste ein Riß, und bringt das Wasser durch denselben zu dem glühenden Metalle, so kann dies Veranlassung zu einer Explosion werden und zwar um so leichter, als schon durch die bloße Berührung mit dem verhältnißmäßig kalten Wasser Risse in dem Metalle entstehen und dieses in dem so stark erhitzten Zustande geringere Festigkeit besitzt. Man sieht, wie wichtig es

hin gebogenen Enden an letzteren dampfdicht gleitend, auf und ab bewegt wird und, jenachdem er die oberste, in der Figur bei **I** dargestellte oder seine unterste in der abgesonderten Zeichnung **II** anschaulich gemachte Position hat, die dampferfüllte Kammer p p (unmittelbar immer die Partie q derselben) mit dem Dampfcylinder so in Communication setzt, daß der Dampf über oder unter den Dampfkolben **k** tritt und diesen nach unten oder aufwärts treibt. Bei beiden Schieberpositionen zeigen die mit 1 bezeichneten Pfeile den Weg, den der Dampf zum Kolben nimmt und die mit 2 nummerirten Pfeile den Weg, auf welchem der Dampf aus dem Raume unter dem Kolben, wenn dieser niedergeht, und aus dem Raume über dem Kolben, wenn dieser sich aufwärts bewegt, in den gleich weiter zu besprechenden Condensator **E** abzieht und daher dem Kolben aus dem Wege geschafft wird. Erhält also der Schieber ss immer die Position wie in **II**, wenn der Kolben sich in seiner untersten Stellung befindet, und die Position **I**, wenn er am obern Ende des Cylinders angekommen ist; so wird letzterer (der Kolben) continuirlich in einer abwechselnden ab- und aufgehenden Bewegung erhalten. Diese Bewegung wird vermittelst der durch die (dampfdichte) Stopfbüchse b gehenden Kolbenstange c auf den massiven gußeisernen Hebel **H**, den sogenannten Balancier, übertragen und, da dieser am andern Ende durch die Bläuelstange **F** mit der Kurbel **G** des (ebenfalls sehr massiven gußeisernen) Schwungrades **S** vereinigt ist, in eine um die Axe o dieses Rades stattfindende drehende Bewegung verwandelt, und diese wird dann vermittelst Winkelräder und anderer geeigneter Vorrichtungen auf die Maschinen und überhaupt dorthin fortgepflanzt, wo die Dampfkraft eine gewisse Arbeit verrichten soll. Die oben besagte Bewegung (Steuerung) des Dampfschiebers zu gehöriger Zeit in die Position **I** und **II** wird durch die Dampfmaschine selbst und zwar vermittelst der an der Radaxe o festgemachten excentrischen Scheibe **J** und des Schubrechens **L** bewerkstelligt, welcher einerseits an dem um diese Scheibe **J** (in einer Spur an ihrem Umfange) beweglichen Ring r befestigt und mit dem andern Ende in eine Warze des um i drehbaren Winkelhebels eingehängt ist. Dadurch wird die vermittelst des Excentricums **J** bewirkte horizontal hin und hergehende Bewegung des Rechens **L** in eine auf- und abgehende verwandelt, welche der mit dem Dampfschieber in Verbindung stehenden und dampfdicht durch eine Stopfbüchse gehenden runden Stange z ertheilt wird.

---

ist, den Kessel rein zu halten und der Bildung des Kesselsteines möglichst vorzubeugen, wofür Zusatz von Stärkmehl oder Zuckersyrup zum Wasser ein approbates Mittel ist. Ursache von Kesselexplosionen kann (nach Jobard) auch die Entzündung von im Kessel gebildeten Knallgas sein. Werden nämlich, wie eben besprochen wurde, wegen zu niedrigem Wasserstande Stellen der Kesselwände glühend, so zersetzt sich der mit ihnen in Berührung tretende Wasserdampf und es bildet sich freier Wasserstoff, während der Sauerstoff mit dem glühenden Eisen sich verbindet. Ist die Speisepumpe nicht in der Ordnung, so daß sie mit jedem Kolbenstoße immer auch eine Portion Luft in den Kessel treibt, so mengt sich diese während des Ganges der Maschine und des dabei stattfindenden Aufwallens des Wassers, wodurch das an den Kesselwänden erzeugte Wasserstoffgas gegen das Dampfabzugsrohr geschleudert wird, mit diesem Wasserstoffgase und bildet Knallluft, welche, sobald sie mit dem glühenden Metall der Wände in Berührung kömmt, oder durch den elektrischen Funken entzündet wird, der (**201**) jedes Mal entsteht, wenn Dampf beim Ventile austritt. Hebt man daher letzteres, so entsteht in demselben Augenblicke eine und zwar wahre schlagende Explosion. Eine Ursache von Dampfkesselexplosionen findet endlich Boutigny in dem Uebergange des Wassers im Kessel aus der sphäroidischen Gestalt, die es in Berührung mit den überhitzten glühenden Kesselwänden annimmt, in den kochenden Zustand, in den es bei der Wiederabnahme der Temperatur dieser Wände geräth. (Man sehe Leidenfrost's Versuch auf S. 871 und das Folgende auf S. 872.)

Der Condensator **E**, in welchen, wie oben gesagt wurde, bei jedem Auf- und Niedergange des Kolbens der Dampf auf den Wegen, die mit **2** nummerirt sind, abzieht, besteht aus einem metallenen Behältnisse, das zum Behuf der Condensirung dieses Dampfes nicht bloß stets mit kaltem Wasser umgeben ist, sondern in welches außerdem durch die Brause **n** von diesem Wasser in feinen Strahlen eingespritzt wird. Dieses eingespritzte und das durch die besagte Condensation erzeugte Wasser, ferner die Luft, die sich bei dem niedern Druck aus dem fast nie luftfreien Wasser entwickelt, wird immer durch die sogenannte Luftpumpe **M** wieder entfernt, welche mit dem Condensator durch einen Canal **v** communicirt, durch die schief liegende Klappe k_1 beim Aufgang des Pumpenkolbens a_1 geöffnet und bei dessen Niedergang geschlossen wird. Beide Bewegungen werden zu Folge hergestellter Vereinigung der Pumpenkolben-Stange **b** mit dem Balancier durch diesen bewerkstelligt, und das bei ersterer Bewegung (beim Aufgang des Kolbens) aus dem Condensator durch die schiefliegende, gegen die Pumpe hin sich öffnende Klappe k_1 in diese unter den Kolben a_1 gezogene Wasser, welches durch den Dampf durchschnittlich auf 30—40 Grad erwärmt ist, bringt beim Niedergange des Kolbens, wo k_1 sich schließt, durch die Kolbenklappen e_1, e_1 in den Raum über dem Kolben und wird von hier durch eine mit k_1 ähnliche Klappe f_1 der sogenannten Warmwassercisterne **N** zugeführt. Von da fließt es zum Theil durch einen Seiher g_1 einer Druckpumpe **O** (der Speisepumpe) zu, und wird vermittelst dieser, in welche es durch die von unten nach oben sich öffnende Klappe i_1 gelangt, zuerst in den Windkessel **W** hineingepreßt und von hier durch die Expansivkraft der im Raume **x** enthaltenen, comprimirten Luft continuirlich durch das Rohr **Q** dem Dampfkessel zugetrieben, so daß dieser vermittelst des in der Anmerkung auf S. 891 beschriebenen Schwimmermechanismus fortwährend mit neuem und bereits warmem Wasser in dem Maße gespeist wird, als aus demselben das Wasser in Dampfform der Maschine zufließt und zum beständigen Fortbestande der normalen Wasserhöhe im Kessel dafür Ersatz nothwendig ist.

Die Saug- und Druckpumpe **X**, welche auf, aus der Figur von selbst klare Weise ebenfalls durch die Dampfmaschine im Gange erhalten wird, ist die sogenannte Kaltwasserpumpe, welche dazu dient, das zum Umgeben des Condensators und zum Einspritzen in denselben nöthige kalte Wasser aus einem Brunnen, Flusse oder Wasserbehältnisse herbei zu schaffen. Sie führt dasselbe bei jedem Niedergang ihres Kolbens, wobei sich die Klappe **y** öffnet, durch den Canal **Z** dem Condensator und der schon früher erwähnten Brause von unten zu, während das bereits warm gewordene Wasser von oben abfließt.

Das schon oben einmal genannte Schwungrad **S** hat die Bestimmung, durch sein großes Trägheitsmoment die Ungleichförmigkeiten auszugleichen, welche im Gange der Maschine zu Folge des momentan immer stattfindenden Anwachsens oder Abnehmens der zu überwindenden Widerstände sonst nothwendig eintreten würden und der von der Maschine zu liefernden Arbeit (z. B. beim Betriebe einer mechanischen Spinnerei) nachtheilig wären. Da jedoch das Schwungrad allein diese Ausgleichung nicht vollständig bewirken kann, so muß überdies auch der Dampfzufluß vom Kessel her entsprechend regulirt werden, und dies geschieht vermittelst der im Dampfleitungsrohre **D** vorhandenen Klappe d_2, des sogenannten Drosselventils, welches durch die Maschine selbst in dem Maße mehr oder weniger geöffnet wird, als diese zu langsam oder zu schnell geht, und zwar (bei der in der Fig. 753 dargestellten Einrichtung) mittelst der Hebel 3 und 4, wovon ersterer durch die Stange 5 auf den an der (horizontalen) Drehaxe der Klappe d_2 befestigten Schlüssel α wirkt, während sein zweiter Arm durch die Zugstange B_1 bewegt wird, die ihn mit dem Winkelhebel 4 verbindet, der wieder von dem

durch die Maschine selbst in Wirksamkeit gesetzten Centrifugalregulator Bewegung empfängt. Dieser Centrifugalregulator besteht der Wesenheit nach aus einer vertikalen eisernen Spindel S_1, welche (auf irgend eine Art — bei der hier abgebildeten Dampfmaschine) durch zwei ineinander greifende Winkelräder 6, 7, wovon das eine (horizontale) auf ihr selbst und das andere (vertikale) auf der Schwungradaxe hinter dem Excentricum J festgemacht ist, in rotirende Bewegung gesetzt wird, und an welcher von einem Punkte l aus die eisernen Arme 8, 9 zweier Winkelhebel herabhängen, die um eine durch diesen Punkt gehende horizontale Axe in der nämlichen Vertikalebene beweglich sind, und an den untern Enden metallene Kugeln 11, 12 tragen. Beide Hebel sind mit kleinen Zugstangen 13, 14 vereinigt, die in Gelenken mit einem Ringe a in Verbindung stehen, der die Spindel umfaßt, und oberhalb eine Hülse h hat, in welcher der eine Arm des Winkelhebels 4 liegt. Je nachdem nun die Dampfmaschine schneller oder langsamer geht und daher die Spindel S_1 in gleichem Maße mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit rotirt, werden die Kugeln 11, 12 durch Wirkung der Fliehkraft mehr oder weniger von der Spindel weggetrieben. Im ersteren Falle wird durch die Stangen 13, 14 die Hülse h in die Höhe gezogen, dadurch der Hebel 4 und durch diesen die Zugstange B_1 nach der Richtung des Pfeiles in Bewegung gesetzt und das Drosselventil d_2 mehr geschlossen, während im letzteren Falle das Entgegengesetzte geschieht, so daß, wenn die Maschine in einen schnelleren oder langsameren, als in den normalen (bei einer bestimmten Stellung des Drosselventils stattfindenden) Gang zu kommen anfängt, sogleich dadurch der normale Gang wieder hergestellt wird, daß das, im ersteren Falle sich entsprechend mehr schließende, im letzteren sich mehr öffnende Drosselventil in der nämlichen Zeit weniger oder mehr Dampf aus dem Kessel in den Dampfcylinder gelangen läßt. Schließlich soll auch noch des sogenannten Parallelogramms Erwähnung geschehen, d. i. des nach der Zeichnung für sich begreiflichen Mechanismus 15, 16, 17, 18, um die Stangen des Dampf- und des Luftpumpenkolbens während der Bewegung stets in lothrechter Richtung zu erhalten.

Die Hochdruckmaschinen, bei welchen, wie wir schon oben gehört haben, der Dampf, nachdem er im Cylinder seinen Dienst gethan hat, nicht condensirt, sondern unmittelbar ins Freie, oder zu weiterer Verwendung durch Röhren u. s. w. geleitet wird, sind, da sie keinen Condensator haben, mithin auch die Luftpumpe wegfällt, in der Construction viel einfacher, und nehmen einen bedeutend geringeren Raum ein, als Niederdruckmaschinen von gleichen Leistungen, weswegen die Dampfmaschinen der Lokomotive (der Dampfwägen), bei welchen möglichste Ersparung an Raum und am Gewichte der Maschine Hauptpunkt, übrigens auch die Herbeischaffung und Mitführung der für den Condensator erforderlichen großen Quantitäten stets zu erneuernden Kühlwassers unmöglich ist, lauter Hochdruckmaschinen sind, die übrigens, so wie die Niederdruckmaschinen, ebenfalls entweder ohne, oder mit Expansion wirken.

Wir wollen nun auch die Einrichtung der Lokomotive kennen lernen und zwar mit Hilfe des durch die Fig. 754 und 755 im Längen- und Querdurchschnitte repräsentirten Exemplares, woran die zweckmäßige (übrigens mannigfaltiger Abänderungen fähige) Construktion und Anordnung der Haupttheile gut ersichtlich ist. Bei den Lokomotiven wirkt der Dampf wieder entweder ohne oder (seit neuester Zeit) auch mit Expansion und es werden dieselben dadurch auf den Eisenbahnschienen fortbewegt, daß die Stangen (s_1, s_1) der Kolben, — welche in zwei einander parallel und horizontal liegenden Cylindern C, C (bei den Maschinen nach dem amerikanischen Systeme haben diese Cylinder eine etwas geneigte Lage) durch den Dampf hin und her, und jeder zu dem andern immer nach entgegengesetzter Richtung getrieben

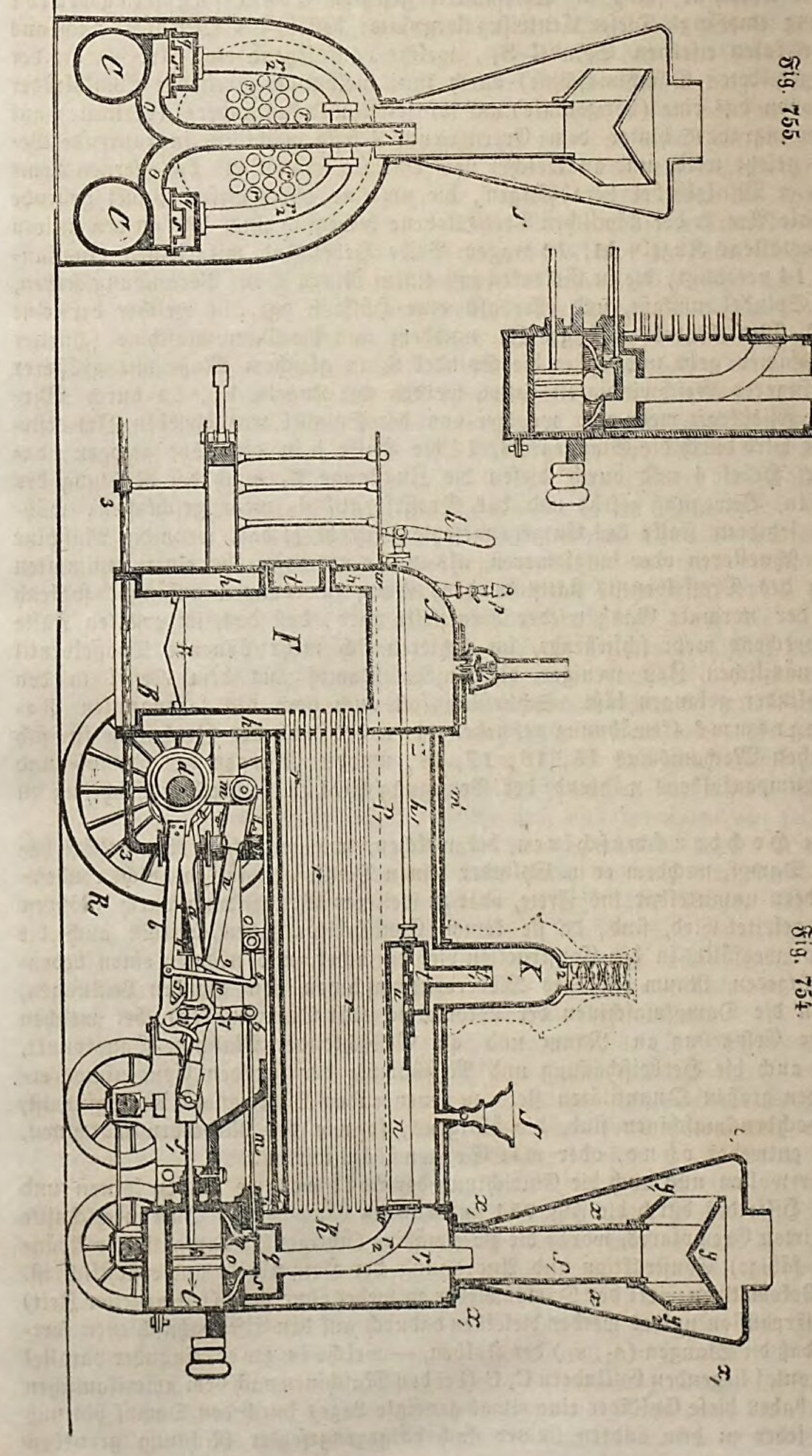


Fig. 755.

Fig. 756.

Fig. 754.

werden, — auf Kurbeln (m, m) zweier an den Enden einer gemeinschaftlichen Axe festgekeilten großen Räder (der Treibräder R_1, R_1) wirken und sie mit einander gleich schnell in Rotation versetzen, wobei diese Räder, zu Folge der an ihren Berührungspunkten mit den Schienen stattfindenden Reibung (Adhäsion), an diesen Punkten gegen die letzteren (die Schienen) sich so stemmen, daß sie, ohne Fortbewegung der Lokomotive (sammt der angehängten Last, also des ganzen Trains) längst den Schienen, nicht rotiren können. Die übrigen 4 (bei sehr großen Lokomotiven auch 6) kleineren Räder dienen bloß, um den ganzen Maschinenkörper mit gehöriger Stabilität zu tragen. Da die oben erwähnten zwei Stemmpunkte der Treibräder zum Fortziehen beträchtlicher Lasten nicht hinreichend sind, so haben die für solche Lasten bestimmten Lokomotive auf jeder Seite noch ein dem Treibrade gleich großes Rad, das mit diesem durch eine Zugstange zusammengekuppelt ist, welche die auf den Axen beider Räder festgekeilten Kurbeln vereinigt, so daß die zwei Paare der gleichgroßen Räder durch den Dampf rotiren gemacht werden, also 4 Treibräder und 4 Stemmpunkte gegen die Schienen vorhanden sind.

Jede Lokomotive besteht übrigens aus 3 Hauptabtheilungen. Die hintere Abtheilung AF bildet der aus starken Kupferplatten zusammengesetzte viereckige, oben abgerundete Feuerkasten, der bei F den Feuerraum, bei t die Heizthüre, bei R den Rost, bei B den Aschenraum hat und in den Wänden h, h, so wie im obern gewölbten Theile A hohl ist. Die hohlen Räume h, h und auch A bis zur punktirten Linie p_1 enthalten Wasser, indem sie einen Theil des eigentlichen Kessels Z Z ausmachen, welcher die mittlere, cylindrische Abtheilung bildet. Die vordere Abtheilung endlich ist der sogenannte Rauchkasten R, welcher oben in den Schornstein S_1 ausmündet und unten an beiden Seiten die Dampfcylinder C, C mit ihren Schiebern oder Schubladen und den zwischen Kessel und Cylinder fallenden Theil des Dampfleitungsrohres einschließt. Er communicirt mit dem Feuerraume F vermittelst einer großen Zahl horizontal durch den Wasserraum des Kessels gehender, kupferner oder messingener Röhren r, r (Fig. 754 und 755), die einerseits in F, andererseits in R ausmünden und durch welche die Flamme, nachdem sie an die Wände und Decke des Feuerraumes angeschlagen hat, so wie auch die nicht brennenden heißen Gase und der Rauch in den Rauchkasten ziehen, um von da durch den Schornstein zu entweichen. Bei dieser Einrichtung wird das in Dampf zu verwandelnde Wasser an möglichst vielen Punkten mit der Wärmequelle in Berührung gebracht und die Wärme der Flamme, so wie der besagten Gase auch auf deren ganzem Wege vom Feuerraume bis in den Schornstein hin möglichst ausgebeutet, was durch die Hauptbedingung bei Lokomotiven, daß nämlich eine rasche Dampfbildung mit der geringsten Menge Brennmateriale bewirkt werde, geboten ist, und wodurch überdies verhindert wird, daß die äußere Luft den Dampf im Dampfleitungsrohre und in den Dampfcylindern abkühle. In beiden Kesselabtheilungen (der viereckigen und cylindrischen) muß das Wasser, dessen normales Niveau durch die punktirte Linie p_1 angedeutet ist, immer so hoch erhalten werden, daß davon weder die Decke des Feuerkastens, noch die von der Flamme durchzogenen Röhren r jemals entblößt sind. Die zu diesem Behufe nöthige Speisung des Kessels mit Wasser geschieht nach Bedürfniß mittelst zweier später näher zu beschreibender Speisepumpen aus dem Tender (Wasser- und Brennmaterial-Vorrathswagen) her, welcher der Lokomotive angehängt ist. Zur Wasserstandsbeobachtung dient ein am Kessel angebrachtes (in der Figur jedoch nicht ersichtliches) Wasserstandglas, auch sind Probierhähne vorhanden; die bei der stationären Maschine beschriebene, die Speisung regulirende Schwimmervorrichtung fehlt jedoch immer. Zum Schutze des Kessels gegen äußere Abkühlung ist er in einen aus Holzdillen zusammengesetzten Mantel m' gehüllt, der von der Kesselwand überall etwas absteht. — Der gebildete Dampf sammelt sich im Raume ober der Linie p_1 an, und die Sicherheitsventile 1 und 2, wovon ersteres mittelst eines Hebels und einer eingehängten Federwage, (welche jedoch in der Figur nicht ersichtlich sind) und letzteres durch Druckfedern niedergehalten wird, verhindern, daß seine Spannkraft eine bestimmte Grenze überschreite. p ist die zum Signalgeben dienende Dampfpfeife, und durch den unten mit einem Hahne versehenen Trichter S geschieht das erste Füllen des Kessels mit Wasser, wenn die Maschine in Betrieb zu setzen ist. Zu den Dampfcylindern C, C kömmt der Dampf durch das im Dampfraume hingehende und im Rauchkasten in zwei Arme r_2, r_2 (Fig. 754 und 755) sich theilende Rohr n, in welches er aber erst aus dem kuppelartigen Theil K_1 des Kessels durch die vertikale Röhre t_1 und den Schieber t im Gehäuse u gelangt. Die Kuppel K_1 und die vertikale Röhre t_1 verhindern, daß während des Schwankens der Maschine Wasser aus dem Kessel in das Leitungsrohr n geschleudert werde, und der Schieber

t, (der Dampfregulator, welcher aus zwei übereinander gleitenden, mit correspondirenden Spalten versehenen Platten besteht und mittelst des Hebels h und der Stange h_1 durch den Lokomotivführer dirigirt werden kann,) dient dazu, um nach Bedürfniß, indem nämlich die besagten Spalten ganz, mehr, weniger oder gar nicht coincidiren gemacht werden, den Dampfcylindern die größte, eine mehr oder weniger große Menge, oder aber gar keinen Dampf zufließen lassen zu können. Aus den besagten Armen r_2, r_2 des Leitungsrohres n gelangt der Dampf in die Dampfkammern q, q und tritt von hier, je nachdem die Dampfschieber s, s wie in Fig. 756, oder wie in Fig. 754 stehen, vor oder hinter den Kolben k, und wird, nachdem er Dienst gethan hat, durch die unter den Schiebern einmündenden Kanäle o, o der Röhre r_1, durch diese dem Schornsteine zu- und von hier in die Atmosphäre hinausgetrieben. Da die obere Oeffnung von r_1 verhältnißmäßig klein ist, so muß der Dampf durch dieselbe mit großer Geschwindigkeit ausströmen und daher im Schornsteine bei jedem Stoße eine Art Vacuum erzeugen, welches immer augenblicklich wieder durch Luft ausgefüllt wird, die durch den Aschenraum B, den Rost R und die Feuerröhren r, r dem Schornsteine zufließt, so daß die nämliche Wirkung erreicht wird, als ob das Feuer auf dem Roste direkt mit einem Gebläse angeblasen würde. — Die Steuerung des Dampfschiebers bei jedem der zwei Dampfcylinder geschieht mittelst einer Schubstange, die bei 6 mit einem Hebel vereinigt ist, der bei 7 seinen Drehpunkt und am zweiten Ende eine Warze 1 hat, und mittelst der einen, oder wenn man die Bewegung der Maschine umkehren (die Maschine z. B. anstatt vorwärts rückwärts gehen machen) will, mittelst der andern der excentrischen Scheiben d, e. Diese wirken durch mit Halsringen an ihrem Umfange eingelegte Zugstangen b, a auf die Warze 1 und sind auf der Treibradaxe festgekeilt, welche, wie wir schon oben gehört haben, vermittelst der Kurbel m und der sie mit der Dampfkolbenstange s_1 vereinigenden Zugstange n durch diesen Kolben rotiren gemacht wird. Je nachdem nämlich die Maschine nach vor- oder nach rückwärts in Bewegung gesetzt werden soll, macht der Lokomotivführer, — indem er mit Hilfe einer ihm zur Hand stehenden Stange den einen Arm o, 8 eines um o drehbaren Winkelhebels, mit dessen Ende 8 die Zugstangen a, b durch die Gelenkstücke 9, 10 vereinigt sind, gehörig verstellt (hebt oder senkt), — entweder die Gabel an der Zugstange b, oder jene an der Zugstange a die Warze 1 ergreifen (der zweite Arm des Winkelhebels und die mit demselben vereinigte, zur besagten Verstellung des Armes o, 8 dienende Stange sind in der Zeichnung nicht sichtbar). Bezüglich der oben besagten Treibradkurbel m, auf welche die Dampfkolbenstange wirkt, ist noch zu bemerken, daß auf beiden Enden der Treibradaxe eine solche Kurbel festgekeilt ist (für jeden der zwei Dampfkolben eine) und daß diese zwei Kurbeln einander nicht parallel stehen, sondern gegenseitig eine um 90° verschiedene Stellung haben, wodurch erreicht wird, daß die zwei Dampfkolben, während der eine sich immer in der jener des andern entgegengesetzten Richtung bewegt, die Treibradaxe continuirlich rotiren machen. Hinter der bereits besprochenen Zugstange a sieht man bei 4 den Stiefel einer der vorhandenen zwei ganz gleich eingerichteten, zur Speisung des Kessels mit Wasser dienenden Pumpen. Sie sind vereinigte Saug- und Druckpumpen, und werden, indem ihre Kolbenstangen mittel- oder unmittelbar mit den Stangen der Dampfkolben vereinigt sind, durch diese in Thätigkeit erhalten. Die mit dem Wasserreservoir des Tenders communicirende Röhre 3, 3 ist die Saugröhre der Pumpe 4; v ist der Pumpenkörper, der sich beim Herausgange des Pumpenkolbens durch das in ihn hinein sich öffnende Saugventil mit Wasser füllt und aus welchem beim Hineingange des besagten Kolbens das Wasser durch ein im obern Ende angebrachtes Ventil in eine Röhre gedrückt wird, die es in den vordersten Theil des Kessels führt und dort in diesen hinein ergießt. Endlich ist noch die in der Figur dargestellte eigenthümliche äußere Form des Schornsteines zu besprechen, die von einer Einrichtung herkömmt, durch welche das Funkenwerfen aus dem Schornsteine, welches sonst sehr stark und äußerst feuergefährlich ist, mindestens soweit vermindert wird, daß es ganz unschädlich ist. Das Schornsteinrohr S_1 hat nämlich ein cylindrisches, unten konisch sich verengendes und oben mit einem konischen Dache y versehenes Gehäuse y_1 y_2 aufgesetzt, worin die im Schornsteine aufsteigenden Funken von dem besagten Dache zurückgeworfen werden und dann genöthigt sind, in einer durch 5 oder 6 Leitcurven (krumme, vertikalstehende Blechschaufeln nach Art jener bei der Fourneyron'schen Turbine S. 178) vorgezeichneten Richtung am cylindrischen Umfange des Gehäuses auszutreten und in den hohlen Raum x, x zwischen dem Schornsteinrohr S_1 und dem dasselbe umgebenden, von unten nach oben sich ebenfalls konisch erweiternden Blechmantel x_1 x_1 x_1 x_1 zu fallen, wo sie erlöschen und aus welchem ihr Rückstand nachher von Zeit zu Zeit durch ein im untersten Theile des Mantels vorhandenes Thürchen herausgenommen wird.

Die Schiffsdampfmaschinen, ebenfalls Lokomotive im weiteren Sinne des Wortes, sind Niederdruck- oder Hochdruck-Maschinen (meistens, ja in der

Regel Maschinen der ersteren Art) und setzen die Dampfboote dadurch in Bewegung, daß sie eine, durch das Schiff senkrecht zu seiner Länge durchgehende, horizontale Welle und durch diese zwei ins Wasser eingreifende Schaufelräder (die Ruderräder) rotiren machen, welche an den aus beiden Seitenwänden des Schiffes hervorstehenden Enden der besagten Welle befestigt sind. Erzeugt wird diese rotirende Bewegung, indem die Kolbenstangen zweier im Schiffsraume nebeneinander vorhandener Dampfcylinder, während die eine immer mit der zweiten entgegengesetzt sich bewegt, continuirlich auf zwei unter rechtem Winkel gegen einander stehende Krummzapfen der Radaxe (der Schaufelräderwelle) einwirken. Dampfschiffe aus früherer Zeit und die amerikanischen Schiffe haben in der Mehrzahl nur einen Dampfcylinder und zur Ausgleichung der Ungleichmäßigkeit der Kraft ein Schwungrad.

Die Cylinder stehen entweder fest und vertikal oder sind oscillirend, d. h. schwingen um eine gegen ihre Länge senkrechte Axe während jedes Auf- und Niederganges des Kolbens einmal hin und her. Im ersteren Falle geschieht die besagte Einwirkung der Kolbenstangen auf die Radaxe vermittelst Balanciers (wie bei der in der Fig. 753 abgebildeten stationären Maschine), nur sind, um Raum zu sparen, die zwei Balanciers, — für jede Kolbenstange einer, — nicht über den Dampfcylindern, sondern unten gegen deren Boden hin angebracht und durch, von einem Querstücke je an dem obern Ende der Kolbenstangen zu ihnen hinabgehende Zugstangen verbunden oder mittelst zweier Treibstangen, deren jede mit einem Ende an der Parallelführung der Kolbenstange (der Vorrichtung, um der Kolbenstange einen genau vertikalen Gang zu sichern) festgemacht ist und mit dem andern in einen Krummzapfen eingreift. Im zweiten Falle hingegen, nämlich bei oscillirenden Cylindern, die ebenfalls vorzüglich nur wegen Raumersparniß angewendet werden, wirken die Kolbenstangen selbst unmittelbar auf die Krummzapfen. Alle Theile der Dampfmaschine befinden sich unter dem Verdeck (im untern Schiffsraume), auch die Schaufelradwelle geht hier durch das Schiff hindurch und die Maschine ist in Wesenheit wie eine stationäre eingerichtet. Wenn sie mit Condensation arbeitet, ist ein Condensator und eine Luftpumpe ganz der oben beschriebenen Art und Wirkung vorhanden; es wird ebenfalls von dem durch die Luftpumpe aus dem Condensator in eine Cisterne gepumpten warmen Wasser ein Theil vermittelst der neben der Luftpumpe stehenden Speisepumpe in den Kessel getrieben, während der übrige Theil dieses Wassers durch ein Rohr wieder in die See oder den Fluß abfließt, woraus es vermittelst einer andern Pumpe ursprünglich geschöpft wurde u. s. w. Nur fehlt bei allen Schiffsdampfmaschinen, so wie bei jenen der Dampfwägen, der Centrifugalregulator, weil hier Gleichförmigkeit der Bewegung weniger nöthig ist. Die Kessel, die sich im Niveau und in der Nähe der Maschinen befinden und, wie sich's von selbst versteht, mit den nöthigen Probierhähnen, Wasserstandmessern, Sicherheitsventilen 2c. 2c. versehen sind, haben bei dem Watt'schen Niederdrucksysteme Kasten- oder Kofferform mit mehreren Abtheilungen und inwendige Feuerung, d. h. den Herd in ähnlicher Art und aus denselben Gründen, wie bei den Dampfwagen, im Innern des Kessels (weil nämlich da das Feuer besser benützt wird und die Rücksicht auf möglichste Ersparung an Raum und Gewicht einen auswendigen, schweres Mauerwerk u. s. w. erfordernden Herd nicht gestattet). Aus eben der Rücksicht auf Raum- und Gewichtsersparniß verläßt man auch jetzt häufig, wenigstens für Passagierboote, bei welchen große Räumlichkeiten für die Passagiere und bedeutende Fahrgeschwindigkeit Hauptbedingungen sind, das besagte Niederdrucksystem und wendet Hochdruckmaschinen mit cylindrischen oder Tubularkesseln (Kesseln mit Feuerröhren nach Art jener der Dampfwagen an). In der neueren Zeit sind auch Dampfboote in Anwendung gekommen, woran anstatt der Schaufelräder eine große archimedische Schraube vorhanden ist, welche am hintern Theil des Schiffes horizontal unter Wasser liegt und, indem sie, in schneller Rotirung um ihre Axe erhalten, sich nach der Richtung der Länge des Schiffes gleichsam immer weiter ins Wasser einbohrt, das Schiff fortbewegt.

Die rotativen Dampfmaschinen, von denen ebenfalls früher Erwähnung geschah, welche aber bis jetzt noch nicht jenen Grad von Vollkommenheit erlangt haben, den sie, um in die Praxis wirklich eingeführt werden zu können, brauchen und dessen sie auch gewiß fähig sind, würden, indem bei denselben der Dampf die rotirende Bewegung, auf deren Hervorbringung es bei Anwendung einer Dampfmaschine fast immer ankömmt, unmittelbar erzeugt, den großen Vortheil gewähren, alle Vorrichtungen entbehrlich zu machen, welche jetzt zur Umwandlung der hin- und hergehenden Bewegung der Kolben in die besagte rotirende

Bewegung erforderlich sind, die Maschine complizirter machen, und immer einen mehr oder minder bedeutenden Theil der Dampfkraft absorbiren. Bei den meisten bisher in Vorschlag gebrachten rotativen Maschinen wirkt der Dampf entweder auf einen in einer ringförmigen Höhlung dicht anliegenden, aus einem beweglichen Radkranze hervorstehenden Flügel (den Kolben) so, daß der Radkranz um dessen, die Rolle der Kolbenstange spielende Axe rotirt, oder der Dampf wirkt auf eine in einem cylindrischen Gehäuse eingeschlossene Scheibe, und macht sie so oscilliren (um eine bestimmte Lage herum schwanken), daß ihre gegen sie senkrechte Axe, welche mittelst eines Kugelverschlusses dampfdicht aus dem Gehäuse hervorsteht und am besagten Verschlusse in einem Kugelgelenke beweglich ist, eine Kegelfläche beschreibt, das äußere Ende dieser wieder als Kolbenstange fungirenden Axe sich also im Kreise herumbewegt. Eine nähere Beschreibung der rotativen Dampfmaschinen gestattet der beschränkte Raum des Buches nicht und ist, da sie noch nicht allgemeinere Anwendung gefunden haben, auch leichter entbehrlich.

Der Nutzeffekt einer Dampfmaschine, d. i. jener Theil der gesammten, durch den Dampf auf den Kolben geübten Kraft, welcher nach Abschlag dessen, was von dieser Kraft durch die Trägheit der Maschinentheile und die andern Hindernisse der Bewegung verzehrt wird, als nutzbar (zur Verrichtung einer Arbeit verwendbar) übrig bleibt, wird, da die Dampfmaschinen sehr häufig Pferdedienste ersetzen müssen, fast allgemein nach Pferdekräften geschätzt, indem man sagt, eine Dampfmaschine besitze 4, 10, 20, 100 ꝛc. ꝛc. Pferdekräfte, oder es sei eine Maschine von 4, 10, 20, 100 ꝛc. ꝛc. Pferdekräften. Da jedoch die Kraft eines wirklichen Pferdes etwas sehr Unbestimmtes ist, indem fast jedes Pferd ein andere Kraft hat und diese auch je nach der Art, in welcher das Pferd benützt wird, verschieden ist u. s. w., so hat man als Maßeinheit für die Leistungen der Dampfmaschinen eine ideale Pferdekraft, eine sogenannte Dampfpferdekraft festgesetzt, und versteht unter einer solchen in England jene Kraft, welche in 1 Minute 33·000 engl. Pfunde auf die Höhe eines Fußes zu heben vermag, so daß eine Maschine, die in der Minute 66·000, 99·000 u. s. w. Pfunde 1 Fuß, oder was offenbar dasselbe ist, 33·000, 49·500 u. s. w. zwei Fuß hoch heben kann, zwei, drei u. s. w. Pferdekräfte besitzt. In Deutschland versteht man unter Dampfpferdekraft auch oft eine Kraft, welche 430 Pfund in der Sekunde um 1 Fuß hebt. — Die Berechnung der Leistung einer Dampfmaschine so wie überhaupt alles andere über diese Maschinen Wissenswerthe muß in Werken über Mechanik gesucht werden.

Von großer Wichtigkeit für die Praxis ist die Lösung der Frage: Welche mechanische Arbeit kann man nach der Theorie durch eine gegebene Wärmemenge erhalten, die man zur Entwicklung und Ausdehnung elastischer Flüssigkeiten unter den verschiedenen praktisch ausführbaren Umständen anwendet. Die vollständige Lösung dieses Problems würde nicht nur die wahre Theorie der Dampfmaschinen, sondern auch aller jener Maschinen geben, bei welchen der Wasserdampf durch einen andern Dampf oder durch ein permanentes Gas ersetzt wird. Von den vielen zur Lösung dieses Problems von verschiedenen Gelehrten seither gelieferten Beiträgen können hier nur folgende Wenige Platz finden. Nach Carnot's mathematischer Theorie wird bei den Dampfmaschinen die mechanische Arbeit bloß durch den Gang der Wärme aus dem Kessel durch die Maschine hervorgebracht; auf diesem Wege verschwindet ein Theil und die erzeugte Triebkraft ist in allen Fällen diesem verloren gehenden Wärmemengetheil proportional: es ist die mechanische Arbeit der Dampfmaschine immer proportional der Differenz zwischen der Wärmemenge, welche der Dampf beim Eintritt in die Maschine hat und jener, welche er bei seinem Austritte (oder im Augenblicke, wo seine Condensirung stattfindet) besitzt. Nach dieser Theorie muß, um mit einer gewissen Wärmemenge das Maximum der mechanischen Arbeit zu erhalten, die Anordnung so getroffen werden, daß der besagte Wärmeverlust der möglich größte, also die Spannung, die der benützte Dampf im Augenblicke, wo er im Condensator anlangt oder die Maschine ganz verläßt, die möglich geringste ist. Nach Regnault's Untersuchungen beträgt die für die mechanische Arbeit in den Dampfmaschinen wirklich benützte Wärmemenge immer nur einen sehr kleinen Theil derjenigen

Wärmemenge, welche dem Kessel mitgetheilt wird und zwar bei Maschinen mit Expansion und ohne Condensation, wo der Dampf mit fünf Atmosphären Druck ein= und mit einer Atmosphäre Druck austritt, nur beiläufig $1/_{40}$ der dem Kessel mitgetheilten Wärme, und bei Maschinen mit Condensation, welche Dampf von 5 Atmosphären Druck empfangen und wo die Spannkraft im Condensator 55m.m Quecksilber ist, $1/_{20}$ der dem Kessel mitgetheilten Wärmemenge. Damit ein größerer Theil Wärme für mechanische Arbeit benützt wird, muß man den Dampf vor seinem Eintritte in die Maschine überhitzen und die Temperatur der Condensation möglichst erniedrigen (letzteres ist in der Praxis aber schwer auszuführen).

Bei den Warmluftmaschinen (S. 836), wo die Triebkraft durch die Ausdehnung der atmosphärischen Luft oder die Vergrößerung ihrer Spannkraft mittelst Wärme hervorgebracht wird, wäre die bei jedem Kolbenhube erzeugte Triebkraft immer proportional der Differenz der Wärmemengen, welche die in die Maschine ein= und die aus derselben austretende Luft besitzt. Da bei Ericson's System die Wärme der austretenden Luft sich auf Körpern (den Regenerator) ablagert, denen die neu eintretende Luft sie wieder entzieht, um sie abermals in die Maschine zu übertragen, so wird bei diesen Maschinen offenbar alle aufgewendete Wärme für die Triebkraft benützt, während bei den besten Wasserdampfmaschinen die für mechanische Arbeit benützte Wärmemenge nur $1/_{20}$ der aufgewendeten beträgt. Es versteht sich übrigens von selbst, daß hier von allen Verlusten nach außen, so wie von den Hindernissen, welche sich in der Praxis darbieten können, abgesehen werde.

389. Von der Wärmeleitung. Wir haben in **365** unter 2. und 3. gehört, daß die Wärme sich sowohl in einem und demselben Körper von Theilchen zu Theilchen, als auch in einem Systeme von Körpern von einem Körper zum andern hinbewegen, d. h. fortpflanzen könne, und daß dies entweder so geschehe, daß die Wärme alle materiellen Theilchen, die sie passirt, nach einander erwärmt, oder so, daß sie von einem materiellen Theilchen oder Körper zu einem andern übergehen kann, ohne die dazwischen befindlichen merklich zu erwärmen. Die erstere Art der Wärmefortpflanzung nannten wir Wärmeleitung und die letztere bezeichneten wir mit dem Worte Wärmestrahlung. Wir wollen nun beide Fortpflanzungsarten näher betrachten und mit der Wärmeleitung den Anfang machen. Wenn ein Körper an einer Stelle Erwärmung erfährt, so theilen die wärmeren Theilchen den benachbarten minder warmen bis zur Ausgleichung ihrer Temperaturen Wärme mit, und so pflanzt sich die Wärme von der besagten Stelle nach allen Richtungen hin im betreffenden Körper und in andern mit ihm in Berührung stehenden Körpern geringerer Temperatur allmälig fort. Diese Fortpflanzung geht in materiell verschiedenen Substanzen mit ungleich großer Geschwindigkeit vor sich. Man schreibt deswegen den Körpern einen größeren oder geringeren Grad von Wärmeleitungsfähigkeit, d. i. der Fähigkeit zu, der Wärme die Fortpflanzung im Inneren mit einer gewissen Geschwindigkeit zu gestatten, und nennt die Körper, jenachdem bei ihnen diese Geschwindigkeit groß oder klein ist, gute oder schlechte Wärmeleiter. Einen Körper, der die Wärme gar nicht fortpflanzt und mithin ein Nichtleiter der Wärme genannt werden müßte, gibt es nicht.

Bei festen Körpern ist die eben besprochene allseitige Fortpflanzung der Wärme immer von einem materiellen Theilchen zunächst zu den unmittelbar angrenzenden die einzige Ursache der allmäligen Verbreitung der Wärme im Innern seiner Masse, und Despretz hat, durch Versuche mit einer Metallstange, (welche an mehreren, gleichweit von einander abstehenden Stellen Thermometer in Bohrlöcher versenkt enthielt und an einem Ende erhitzt wurde) gefunden, daß die Temperatur von der erhitzten Stelle an in Entfernungen, welche wie die Glieder einer arithmetischen Reihe wachsen, nach einer geometrischen Reihe abnimmt, ein Gesetz, welches, nach von Langberg unter Magnus's Leitung angestellten Untersuchungen aber nur für kleine Ueberschüsse der Temperatur über die constante Lufttemperatur wahr, sonst nur näherungsweise richtig ist. Diesem Gesetze gemäß kann die Stange an dem andern Ende nie so heiß werden, wie an dem erhitzten, und es muß, — indem der Körper auch Wärme

an seine Umgebung abgibt (sowohl auf dem Wege der Leitung, als, wie wir später hören werden, durch Strahlung), seine Theilchen also einerseits immer weniger Wärme empfangen, je weiter sie von der erhitzten Stelle entfernt sind, und andererseits immer Wärme an die angrenzenden Theilchen und an die Umgebung des Körpers abgeben, — in einer gewissen Entfernung von der Wärmequelle, an der Stelle des erhitzten Körpers nämlich, wo die besagte Wärmeabgabe dem in der nämlichen Zeit stattfindenden Wärmeempfang gerade gleich ist, eine, so lange die Wärmequelle gleich heiß, und die Umgebung die nämliche und gleich warm bleibt, stationäre Temperatur eintreten. Daß diese Entfernung unter sonst gleichen Umständen nur von der Quelle der Erhitzung abhängt und bei kräftigerer (stärkere Hitze gebender) Quelle größer ist, versteht sich nun von selbst.

Nur die Körper von ganz regelmäßigem Gefüge besitzen nach allen Seiten hin eine gleiche Leitungsfähigkeit; die das Licht doppelt brechenden Krystalle, sowohl die optisch ein- als zweiaxigen, leiten die Wärme in der Richtung der größeren Elastizitätsaxe besser, als in jener der kleineren. Um die relative Wärmeleitungsfähigkeit der festen Körper zu ermitteln, d. h. zu erfahren, in welchem Verhältnisse die festen Körper bezüglich der Größe ihrer Wärmeleitungsfähigkeit stehen, gaben Franklin und Inghenhouß denselben die Gestalt gleichdicker Stäbe, befestigten diese, unter einander parallel, in einer Holzleiste so, daß das Ganze die Form eines Kammes hatte, überzogen sie dann alle mit einer gleichförmig dicken Wachsschichte, tauchten sie gleichtief in heißes Oel, und schloßen aus der größeren Weite, bis zu welcher in der nämlichen Zeit das Wachs wegschmolz, auf eine größere Leitungsfähigkeit des betreffenden Stabes. Diese und andere zu gleichem Zwecke von Despretz u. A. unternommene Versuche lehrten: daß die Metalle die besten und die Steine sämmtlich gute Wärmeleiter sind, daß hingegen Metalloxyde und glasartige Stoffe, Luft, Holz, Stroh, Kohle, Asche, überhaupt pulverige, faserige und andere aus vielen durch Luftschichten getrennten Theilen bestehende Stoffe, wie Wolle, Seide, Haare, Flaumfedern u. s. w. zu den schlechten Wärmeleitern gehören. Bei den folgenden Körpern stehen, nach Despretz, die Wärmeleitungsfähigkeiten in dem Verhältnisse der diesen Körpern beigesetzten Zahlen: Gold 1000, Platin 981, Silber 973, Kupfer 898, Eisen 374·3, Zink 363, Zinn 303·9, Blei 179·6, Marmor 23·6, Porzellan 12·2, Töpferthon 11·4.

Peclet's Untersuchungen gaben für die Wärmemengen, welche in einer Sekunde durch Platten von 1 □ Meter Fläche, 1 Millemeter Dicke und von einem constanten Temperaturunterschiede von 1° C. ihrer beiden Seiten, gehen, folgende, den betreffenden Substanzen, woraus diese Platten bestanden, beigesetzte Zahlen: Gold 21·28, Platin 20·95, Silber 20·71, Kupfer 19·11, Eisen 7·95, Zink 7·74, Blei 3·84, Marmor 0·48, Porzellan 0·24, Steingut 0·23, und führten zu dem für die Praxis wichtigen Schluß, daß beim Heizen mit Dampf oder Flüssigkeiten und den gewöhnlich angewandten Vorrichtungen die Natur und Dicke des Metalls keinen, oder wenigstens nur einen sehr geringen Einfluß auf die durchgehende Wärmemenge ausübt und daß man die wirkliche Leitungsfähigkeit sehr erhöht, wenn man die Flüssigkeiten, welche die inneren und äußeren Seiten der Gefäße oder Röhren benetzen, rasch erneuert.

Untersuchungen über die Wärme-Leitungsfähigkeit der Metalle, die in neuester Zeit von Wiedemann und Franz mit dem Bemühen, die Mängel der Despretz'schen und auch der spätern Langberg'schen Methode zu vermeiden, unternommen wurden, gaben folgende Zahlen: Silber 100, Kupfer 73·6, Gold 53·2, Messing 23·6, Zinn 14·5, Eisen 11·9, Stahl 11·6, Blei 8·5, Platin 8·4, Neusilber 6·3, Wismuth 1·8, welche mit den für die elektrische Leitungsfähigkeit dieser Metalle von Rieß, Becquerel und Lang verglichen, zeigen, daß die Leitungsfähigkeiten der Metalle für Elektrizität und Wärme einander sehr nahe stehen und wahrscheinlich beide Funktionen derselben Größe sind.

Nach de Senarmont's neuesten Untersuchungen ist die Leitungsfähigkeit in allen Mitteln, die wie die Krystalle des regelmäßigen Systems constituirt sind, nach allen Richtungen gleich; in allen Mitteln, die wie die Krystalle des pyramidalen oder rhomboedrischen

Systems konstituirt sind, hat sie in der Richtung der krystallographischen Axe einen Maximum- oder Minimum-Werth, in allen gegen diese Axe winkelrechten Richtungen ist sie gleich. In den Mitteln von der Constitution der Krystalle von der Grundform eines geraden rectangulären Prismas hat sie 3 Werthe, einen größten, mittlern und kleinsten in rechtwinklichen, stets der krystallographischen Axen parallelen Richtungen. In Mitteln, wie Krystalle von der Grundform eines schiefen rectangulären Prismas, hat sie ebenfalls 3 verschiedene Werthe nach rechtwinklichen Richtungen und ebenso in Mitteln wie die Krystalle des unsymmetrisch prismatischen Systems, jedoch hier nach 3 im voraus nicht bestimmbaren Richtungen. Hier mag gelegenheitlich bemerkt werden, daß nach Wiedemann bei Krystallen auch das Leitungsvermögen für Elektrizität nach verschiedenen Richtungen verschieden, namentlich nach den Richtungen der Axen geringer oder größer sei, als nach den andern Richtungen.

Aus der verschiedenen Wärmeleitungsfähigkeit der Körper erklärt sich: Das Warmhalten unserer Kleider, insbesondere jener aus Pelz oder Wolle (indem sie nämlich als schlechte Leiter die durch den Lebensprozeß in unserem Körper reichlich erzeugte Wärme nur sehr langsam durchlassen, daher ihren Uebertritt in die Luft, wenn diese kalt ist, und die rasche Abkühlung des Körpers hindern); warum Bäume durch Umwinden mit Stroh, Saaten durch eine Decke von Schnee (unzählige mit Luftschichten abwechselnde Flocken) gegen Frost, das Wasser in Leitungs- oder Brunnröhren, Bassins u. s. w. durch deren Bedeckung mit Mist oder Umhüllung mit Stroh geschützt werden; warum hölzerne Häuser in kalter Jahreszeit viel wärmer sind als gemauerte; warum im Winter der steinerne Boden in Kirchen und Gängen, die steinernen Stufen der Stiegen ꝛc. ꝛc. mit Bretern belegt werden, und die Cavalleristen ihre Steigbügel mit Tuch, Stroh oder Heu umwickeln (offenbar, damit aus den Füßen nicht so viel und rasch Wärme abfließen, und der Körper nicht so schnell und stark erkalten könne, wie dies durch die guten Leiter, Stein und Metall, geschehen würde); warum Kochgefäße oder andere Geräthe von Metall, um sie in heißem Zustande handhaben zu können, mit hölzernen Handgriffen versehen oder die metallenen Handgriffe daran mit Flanell oder andern schlecht leitenden Stoffen umwickelt werden; warum man bei starker Kälte wohl Holz, nicht aber Eisen oder Kupfer u. s. w. mit der Zunge ungestraft berühren kann (das gut leitende Metall entzieht nämlich der Zunge und der an ihrer Oberfläche immer vorhandenen Feuchtigkeit fast augenblicklich so viele Wärme, daß die Zunge an das Metall anfriert, und ohne daß die Haut an diesem zurückbleibt, davon nicht entfernt werden kann); warum man in der Glasblaserlampe einen Glasstab an einer Stelle zum lebhaftesten Glühen, ja zum Schmelzen bringen und in der Entfernung eines Zolles von dieser Stelle ungefährdet zwischen den Fingern halten kann, während letzteres bei einem Metalldrahte nicht möglich ist, und ersteres (das Glühendmachen) bei einer etwas größeren Dicke des Drahtes deswegen nur sehr schwer gelingt, weil durch die neben der betreffenden Stelle gelegenen Theilchen die Wärme immer sehr schnell abgeleitet wird; warum man Eis, um es im Sommer länger zu erhalten, mit mehreren Lagen von Flanell umhüllt oder in Gruben aufbewahrt, die mit dicken oder (besser) mehrfachen Holzwänden ausgefüttert und bedeckt sind; warum Zimmeröfen und Kochgefäße, bei welchen es darauf ankömmt, die Wärme des Brennmaterials schnell der Zimmerluft und den zu kochenden Substanzen zuzuführen, aus gut leitenden Materialien verfertigt werden, und warum ein eiserner Ofen schneller heizt, ein kupferner oder eiserner Topf schneller kocht, als ein irdener u. s. w.

In tropfbaren und gasförmigen Flüssigkeiten wird die Verbreitung der Wärme, besonders wenn die Erwärmung von unten her geschieht, zum bei weitem größten Theil durch eine eigene Bewegung dieser Flüssigkeiten bewerkstelligt. Die erwärmten Theilchen steigen nämlich als spezifisch leichter in der übrigen kälteren Masse empor und übertragen so die Wärme an die oberste Schichte, an ihre Stelle treten andere kalte Theilchen, werden ebenfalls erwärmt, steigen wie die vorigen empor, ihren Platz nehmen wieder andere kältere Theilchen ein u. s. f.; es entsteht also eine Circulation in der Flüssigkeit, welche eine allmälige, je nach der Beweglichkeit der Flüssigkeitstheilchen mehr oder weniger schnelle Verbreitung der Wärme durch die von unten erwärmte Flüssigkeit in der Richtung von oben nach unten bewirkt und sich bei einer tropfbaren Flüssigkeit mittelst eines beigemengten Pulvers von mit ihr gleichem spezifischen Gewichte und in der Luft oder einem andern Gase mittelst leicht beweglicher Körper, z. B. papierner Windflügel, anschaulich machen läßt, die durch die Strömung in Bewegung gesetzt werden können. Wird z. B. mit pulverisirtem Bernstein vermengtes Wasser in einem gläsernen Kolben durch eine unterge-

stellte Weingeistlampe erwärmt, so sieht man die Flüssigkeit in der Mitte emporsteigen und rings herum an den Wänden herabsinken. Diese Bewegung findet nicht statt, sobald man die Erwärmung der Flüssigkeit bloß an ihrer Oberfläche bewerkstelligt, und die Wärme pflanzt sich in diesem Falle nur äußerst langsam nach unten fort. Dies findet in ähnlicher Weise bei allen Flüssigkeiten statt, so daß sie Wärmeleitungsfähigkeit nach dem oben festgestellten Begriffe und wie sie festen Körpern zukömmt, nur in sehr geringem Grade besitzen, also zu den schlechten Wärmeleitern gehören.

Aus der besagten Verbreitungsweise der Wärme in Flüssigkeiten erklärt sich: Das Zittern der Gegenstände, die man über eine den Sonnenstrahlen ausgesetzte Metalldach- oder andere stark erhitzte Fläche hin betrachtet (von einer solchen Fläche erhebt sich nämlich beständig ein warmer Luftstrom, welcher die von den betrachteten Objekten dem Auge zugesendeten Strahlen zu Folge seiner Bewegung so bricht, daß sie immer von andern Punkten herzukommen scheinen); die langsame Erwärmung der unteren Regionen hoher Zimmer und die große Differenz ihrer Temperatur am Boden und in der Nähe der Decke, wo es bekanntlich immer viel wärmer ist; warum eine Flüssigkeit auf einem Sparherde (also bei Erwärmung von unten) leichter zum Sieden gebracht wird, als am Feuer eines offenen Herdes (d. i. bei Erhitzung von der Seite); warum es zweckmäßig ist, in Badehäusern das heiße Wasser von unten her in das zu erwärmende kalte zu leiten, und bei Destillationen das bereits warm gewordene Kühlwasser von oben abfließen zu machen und von unten her durch frisches zu ersetzen (S. 886). Es erklärt sich ferner: Die Heizung mit erhitztem Wasser (nach Perkins), und die Meißner'sche, sogenannte Luftheizung. Bei ersterer geht durch die zu heizende Localität eine Röhrenleitung, die mit dem untern Ende ihres (in der besagten Lokalität) aufsteigenden Theiles (der Steigröhre) in einen Kessel oben einmündet, während ihr anderer, allmälig absteigender, durch die verschiedenen Parthien des zu heizenden Raumes hingeführter Theil im Kessel unten (an dessen Boden) endigt, und der ganze Apparat ist bis an seinen obersten Punkt mit Wasser angefüllt. Wird nun der Kessel geheizt, so steigt das darin erwärmte leichtere Wasser in der Steigröhre empor, das am untern Ende der übrigen Röhrenleitung befindliche (kältere) Wasser tritt in den Kessel an den Platz des emporgestiegenen, während das andere nachsinkt, hier gleichfalls erwärmt wird, und auch emporsteigt, und es entsteht so eine kreisende Bewegung. Indem das Wasser in der Röhrenleitung seine Wärme durch das Materiale dieser Leitung an die äußere Luft absetzt, kühlt es sich wieder ab, wird schwerer und unterhält so die eben besagte kreisende Bewegung. Um dem Wasser auf seinem Wege durch den zu heizenden Raum möglichst viel Wärme zu entziehen, ist es zweckmäßig, der Röhrenleitung eine recht große Oberfläche zu geben, also lieber mehrere engere Röhren anstatt einer einzigen weiten anzuwenden. Nach dem ältern System dieser Heizmethode ist das Wasser nicht überall eingeschlossen, sondern hat in einem, in die Röhrenleitung, an ihrem höchsten Punkte, eingeschalteten offenen Behälter freien Spielraum sich auszudehnen und, wenn es zum Sieden kommen sollte, in Dämpfen frei zu entweichen. Die Hitze kann hier nie höher steigen, als wie sie dem natürlichen hydrostatischen Druck im untern Theile des Apparates entspricht. Nach dem neueren Systeme ist der obere Behälter mit einem belasteten Ventile verschlossen und man hat es so durch entsprechend große Ventilbelastung in seiner Macht, das Wasser auf sehr hohe Temperatur zu erhitzen, mithin die Wirksamkeit des ohne diese Einrichtung ziemlich trägen Heizapparates zu erhöhen.

Bei der (schon im Mittelalter bekannt gewesenen, im Jahre 1792 wieder aufgenommenen und endlich von Meißner zu dem jetzigen Stand gebrachten) Luftheizung sind zwei Arten zu unterscheiden, nämlich die Luftheizung mit einem Mantelofen und die Luftheizung mit einer Heizkammer. Die erstere Art ist von der gewöhnlichen Ofenheizung nur dadurch verschieden, daß der im zu heizenden Zimmer o. dgl befindliche Ofen mit einem thönernen oder metallenen (blechernen) Schirm, Mantel genannt, umgeben ist, der überall gleichweit, etwa 6 Zoll, vom Ofen absteht, oben offen und unten, ganz am Fußboden an, mit zum freien Durchzug der Luft hinreichend vielen und großen Oeffnungen durchbrochen ist. Wird nun der Ofen geheizt, so steigt die im Raume zwischen ihm und dem Mantel erwärmte Luft an die Zimmerdecke empor, an ihren Platz tritt durch die Oeffnungen unten im Mantel kältere Luft, diese steigt, nachdem sie erwärmt worden ist, auch in die Höhe, und so passirt die ganze Luft des Zimmers in sehr kurzer Zeit den Raum zwischen Ofen und Mantel und zeigt sich dann natürlich überall gleichförmig erwärmt. Ein einziger Ofen reicht auf diese Weise hin, ein sehr großes Gemach entsprechend und so zu erwärmen, daß in den größten Entfernungen vom Ofen und ganz in der Nähe desselben ziemlich die nämliche Temperatur herrscht, während sonst, wenn der Ofen keinen Mantel hätte, also die

Zimmerluft nicht in Circulation gesetzt würde, in seiner Nähe eine dem Gefühle lästige, den Möbeln und andern Gegenständen nachtheilige Hitze und in nicht großen Entfernungen von demselben empfindliche Kälte stattfinden würde. Damit die Erwärmung der Luft zwischen Mantel und Ofen und die daraus hervorgehende Circulation rasch vor sich gehe, muß der Ofen (am besten ein gußeiserner) der zu erwärmenden Luft möglichst viele Berührungspunkte mit seiner erhitzten Fläche bieten (wie dieß überhaupt bei jeder Ofenheizung der Fall sein soll), ferner schnell Hitze geben und diese so vollständig als möglich zwischen Ofen und Mantel zurück-, also vom Durchgang durch den Mantel abgehalten werden, weswegen dieser schlecht wärmeleitend sein und (aus einem in dem über Wärmestrahlung Folgenden klar werdenden Grunde) glatte Oberflächen haben soll. Metallene Mäntel, welche sich wegen des geringen Raumes, den sie einnehmen und der gefälligen Form, die man ihnen leicht geben kann, vorzüglich empfehlen, verfertigt man, um sie schlecht leitend zu machen, aus zwei einander parallelen Blechlagen und füllt den Zwischenraum der letzteren mit Asche o. dgl. an. Die Wirkung des Mantels läßt sich zum Theil auch durch ein beiderseits offenes Rohr ersetzen, welches in aufsteigender Richtung (am besten) vom Fußboden aus durch das Innere (durch den Feuerraum) des Ofens geht.

Nach der zweiten Art der Luftheizung befindet sich der Ofen nicht in dem zu heizenden Lokale, sondern außerhalb desselben in einer eigenen gemauerten und oben eingewölbten Kammer, welche ihn, so wie im vorigen Falle der Mantel, von allen Seiten in gleicher und entsprechender Entfernung umgibt, und mit dem besagten Lokale durch zwei Kanäle communizirt. Der eine dieser Kanäle geht vom Gipfel der Wölbung, der andere vom Boden der Kammer aus, ersterer mündet in das zu heizende Lokale durch eine Seitenwand etwa 6 Fuß hoch vom Fußboden, letzterer hingegen unmittelbar über diesem Boden selbst ein. Der obere Kanal führt die im Zwischenraume der Kammerwand und des Ofens (der nebenbei gesagt, seine Heizthüre außerhalb der Kammer hat) erwärmte Luft dem zu erwärmenden Zimmer o. dgl. zu, und durch den untern Kanal rückt aus dem besagten Zimmer die kalte, zu erwärmende Luft immer in den besagten Zwischenraum nach. Man kann auch mehrere Lokalitäten, z. B. die Wohnzimmer u. s. w. eines ganzen Stockwerkes oder eines ganzen Hauses von einer einzigen Heizkammer aus heizen, wenn jede dieser Räumlichkeiten in der oben beschriebenen Weise durch zwei Kanäle (einen obern und einen untern) mit der Heizkammer in Verbindung gesetzt ist und diese, so wie der Ofen darin, die gehörige Größe hat. Da die warme Luft, als leichter, immer in die Höhe zu steigen, die kalte, schwerere hingegen stets hinabzusinken sucht; so ist es, um die Bewegung der erwärmten Luft aus der Heizkammer in die Wohnzimmer und der kältern Luft in umgekehrter Richtung nicht zu hemmen, sondern vielmehr zu befördern, wesentlich, daß die Heizkammer unterhalb aller zu heizenden Lokalitäten (also im Falle, wo solche sich auch im Erdgeschosse des Hauses befinden, im Keller) oder wenigstens im gleichen Niveau mit denselben, nie aber oberhalb angebracht sei. Aus gleichem Grunde sollen die besagten Cirkulationskanäle an den Wendestellen nie scharfe, sondern immer möglichst stumpfe Ecken oder (am besten) allmälig verlaufende Krümmungen und immer glatte, wenig Reibung verursachende (innere) Flächen haben. Uebrigens müssen die Dimensionen dieser Kanäle mit der Menge unt mit der Geschwindigkeit im Einklange stehen, in welcher die Luft durch die Heizkammer und sie selbst ziehen muß, damit so viel warme Luft und von solcher Temperatur in die Zimmer komme, daß sie zu gehörigem Grade geheizt und bei diesem, trotz ihres Wärmeverlustes nach außen hin, erhalten werden, die Luft aber auch nicht im zu heißen, dem Gefühle lästigen und den Möbeln u. dgl. schädlichen Zustande im Zimmer anlange. Ferner ist, soll die in Rede stehende Luftheizungsart besonders auch in ökonomischer Beziehung entsprechen, dafür zu sorgen, daß von der im Ofen erzeugten Hitze für die zu heizenden Zimmer möglichst wenig verloren gehe. Demnach muß der Ofen zweckmäßig construirt, (es soll ein Circulationsofen, der fast alle darin erzeugte Hitze schnell und an größter Fläche in die umgebende Luft sendet) und die Wände der Heizkammer und der Leitkanäle müssen schlecht wärmeleitend gemacht sein. Um den dieser Heizmethode gemachten Vorwurf zu beseitigen, daß dabei die Zimmerluft zu sehr ausgetrocknet werde und bald jenen Grad der Feuchtigkeit verliere, der uns zum behaglichen Befinden und zur Gesundheit nothwendig ist, braucht man nur Sorge zu tragen, daß in dem Kanale, durch welchen die erwärmte Luft zieht, stets Wasser in einer flachen Schale, oder von einem Badeschwamm aufgesogen, vorhanden sei, da dieses dann durch Verdünstung der vorbeiziehenden Luft die erforderliche Feuchtigkeit liefert. Will man endlich die Luft in dem zu heizenden Zimmer nicht bloß erwärmen, sondern zugleich auch stets erneuern, rein und frisch erhalten, so darf man nur der Heizkammer die kalte Luft, anstatt aus dem betreffenden Zimmer selbst, von außen her zuführen, indem man den oben besagten untern, vom Boden der Heizkammer ausgehenden Circulationskanal nicht in diesem Zimmer, sondern in der freien Atmosphäre ausmünden läßt. Die kalte Luft des Zimmers muß dann natürlich durch die ohnehin mehr oder weniger ungenau schließenden Fenster und Thüren entweichen.

Folge der eben besprochenen und schon in **143** angedeuteten Bewegung, die durch Temperaturdifferenz in der Luft erzeugt wird, ist auch der Zug in den Oefen und Feuerstellen. Die Luft über dem Feuer wird nämlich ausgedehnt und spezifisch leichter, steigt in der sie umgebenden kälteren Luft empor, diese strömt von der Seite und von unten durch den Rost her nach der von der warmen Luft verlassenen Stelle hin, (wobei sie das Feuer passirt, anfacht und nährt) steigt von dort zu Folge Erhitzung ebenfalls auf und so wird ein beständiges Zuströmen kalter frischer Luft (ein beständiger Zug) unterhalten. Die Kraft, womit das Aufsteigen erfolgt, und von welcher allein unter sonst gleichen Umständen die Geschwindigkeit dieses Aufsteigens und mithin auch des Zuströmens der frischen Luft abhängt, ist der Differenz zwischen den Gewichten der Volume der aufsteigenden erhitzten und der an ihren Platz tretenden kalten Luft gleich. Wenn die aufsteigende warme Luft frei ist, so wird sie auf ihrem Wege von der sie umgebenden kalten fortwährend abgekühlt, zu Folge dieser Abkühlung und des Widerstandes, den sie bei ihrer Bewegung erfährt, nur mit geringer Geschwindigkeit sich bewegen, und in der besagten umgebenden Luft nach allen Seiten hin vertheilt werden; der Zug wird also verhältnißmäßig nur schwach sein können. Ist jedoch die erhitzte, aufsteigende Luft in einer die Wärme zurückhaltenden Hülle eingeschlossen, so fallen beide den Zug schwächenden Umstände mehr weniger hinweg und es erklärt sich hieraus die den Zug erhöhende Wirkung der Schornsteine. Um diese Wirkung gehörig einzusehen und die Stärke des durch einen Schornstein erzeugten Zuges d. i. die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher bei seinem Vorhandensein die Luft von außen her dem Feuerraume (dem Roste) zuströmt, darf man nur die Sache folgendermaßen betrachten. Am Roste steht die im Schornsteine enthaltene erhitzte Luftsäule mit der äußeren kalten Luft an gemeinschaftlicher Basis in Berührung. Denkt man sich in der letzteren Luft von dieser Basis an aufwärts eine Säule von der Höhe des Schornsteins und diese Säule zur Temperatur der Luft im Schornsteine erhitzt, wodurch sie natürlich um ein gewisses Stück h länger würde; so ist es bezüglich der Wirkung der im Schornsteine vorhandenen Säule von der Höhe H und bezüglich der Wirkung der äußeren Luftsäule von der Höhe $H + h$, da die erstere (die Säule im Schornsteine) und die Länge H der letzteren (der äußeren Luftsäule) mit einander im Gleichgewichte stehen, offenbar ganz so, als ob die Säule im Schornsteine und das mit ihr gleich hohe Stück H der äußeren Säule gar nicht vorhanden, sondern im Schornsteine (über dem Roste) ein leerer Raum vorhanden wäre, in welchen von außen bloß die Luftsäule von der Höhe h einzubringen sucht; und es ergibt sich dann die Geschwindigkeit C, womit dies geschieht d. i. die Stärke des Zuges gemäß **144** aus der Formel $C = \sqrt{2gh}$ . . . (1). indem diese Geschwindigkeit gleich jener ist, welche die Luft beim freien Fall durch die Höhe h erlangen würde. Berechnet man den Werth von h (d. h. die Größe des Stückes, um welches die äußere Luftsäule von der Höhe H des Schornsteins länger werden müßte, wenn diese Säule von ihrer (mittleren) Temperatur t auf jene t_1 der Luft im Schornsteine erhitzt würde, welcher mit hinlänglicher Genauigkeit gefunden wird, wenn man den Unterschied $t_1 - t$ der beiden, in Graden des 100theiligen Thermometers ausgedrückten Temperaturen mit 0·00366 (dem Ausdehnungscoefficienten der atmosphärischen Luft gemäß **368**) und das Produkt mit der Höhe H des Schornsteins multiplizirt *), und substituirt den so

*) Der Ausdehnungscoefficient der atmosphärischen Luft ist 0·00366, heißt eigentlich, eine Säule dieser Luft dehnt sich bei jeder Temperaturzunahme um 1° C. um den 0·00366sten Theil der Länge l aus, die sie bei 0° C. hat. Demnach ist $H = l + 0{\cdot}00366\,lt$ und $H + h = l + 0{\cdot}00366\,lt_1$ und mithin wäre genau genommen $h = 0{\cdot}00366\,l\,(t_1 - t)$.

erhaltenen Werth 0·00366 H. $(t_1 - t)$ für h in die obige Formel (1); so hat man die fragliche Geschwindigkeit (die Stärke des Zuges) $C = \sqrt{2\,g\,.\,0{\cdot}0036\,H\,(t_1 - t)}$ und sieht das dieselbe (an Orten von der nämlichen Acceleration der Schwere g und unter auch sonst gleichen Umständen) von der Höhe des Schornsteins und von der Differenz der Temperatur der Luft innerhalb und außerhalb des Schornsteins abhänge und mit den Quadratwurzeln aus dieser Höhe und Differenz wachse. Um also durch Erhöhung des Schornsteins den Zug zu verdoppeln, müßte die Höhe auf das 4fache gesteigert werden oder in zwei Schornsteinen, wovon der eine noch einmal so hoch ist als der andere, würden sich die Geschwindigkeiten des Luftzuges verhalten wie $\sqrt{2}$ oder 1·414 : 1. Von den auf die angegebene Art berechneten Geschwindigkeiten sind jedoch, um die Rechnungsresultate mit jenen, welche die Erfahrung gibt, in entsprechende Uebereinstimmung zu bringen, bedeutende Abzüge zu machen und zwar hauptsächlich der Reibung und Abkühlung wegen, welche die Luft im Schornsteine erfährt und bei obiger Berechnung unberücksichtigt blieben.

Die Reibung ist zwar je nach der Glätte der Schornsteinwandungen verschieden, jedenfalls aber sehr beträchtlich, da sich diese Wandungen bald mit Ruß und Kohlenstaub überziehen und dadurch sehr rauh und uneben werden. Nach Versuchen, die Peclet an aus Stein gemauerten, gußeisernen und eisenblechernen Schornsteinen angestellt hat, beträgt die besagte Reibung bei diesen verschiedenen Materialien ungleich viel und man muß, um den wirklichen Zug zu erhalten, den durch obige Rechnung gefundenen Werth mit einem Faktor multipliziren, der für einen aus Ziegeln aufgemauerten Schornstein $2{\cdot}06\sqrt{\frac{D}{H + 4\,D}}$, für einen blechernen $3{\cdot}25\sqrt{\frac{D}{H + 10\,D}}$ und für einen gußeisernen $4{\cdot}61\sqrt{\frac{D}{H + 20\,D}}$ beträgt, wo immer D den Durchmesser und H die Höhe des Schornsteines bedeutet. In hohen Schornsteinen, besonders wenn sie frei stehen, erleidet die Luft, während dem Aufsteigen darin, durch die Mauern eine sehr starke Abkühlung, zumal wenn diese nicht sehr dick sind, oder der ganze Schornstein aus Eisenblech besteht, wie man sie nicht selten bis zu einer Höhe von 130 Fuß in Fabriken ausgeführt findet. Diese Abkühlung ist um so viel stärker, je länger die Luft in dem Schornsteine verweilt, steht also auch mit der Weite (mit dem die Stärke des Zuges bedingenden Durchmesser D) des Schornsteins in innigem Zusammenhange. Allgemein giltige Regeln über die zweckmäßigste Weite der Schornsteine zu geben, ist aus dem Grunde nicht wohl möglich, weil dabei eine Menge Nebenrücksichten in Betracht kommen, die je nach den Umständen sehr verschieden sein können, als z. B. das Material des Schornsteins, die Art des Brennstoffes (in so fern einige solche Stoffe viel, andere wenig oder keinen Ruß absetzen), die Lage des Schornsteins, ob er frei steht oder sich in den Mauern eines Gebäudes hinaufzieht, leicht zu reinigen ist oder nicht u. s. w. Ueber die in speziellen Fällen zu beobachtenden Regeln muß das Betreffende in Peclets Wärmelehre oder ähnlichen Werken gesucht werden.

Es wurde im Vorhergehenden vorausgesetzt, daß die in den Schornstein eintretende erhitzte Luft bei der Erhitzung nicht verändert worden sei. Das ist aber nicht der Fall, sobald sie (die Luft) die Verbrennung unterhält, indem sie dabei eine chemische Veränderung erleidet, die auf die Dichtigkeit und mithin auf die Zuggeschwindigkeit Einfluß hat. Man hat, um auch diesen Einfluß größtentheils in Rechnung zu bringen, den für die Zuggeschwindigkeit berechneten und in Bezug auf Reibung bereits corrigirten Werth nach Peclet noch mit 0·97 zu multipliziren. Was endlich die Abkühlung der Luft im Schornsteine anbelangt, welche eine Abnahme der Temperatur dieser Luft und folglich, gemäß obiger Formel für die Stärke des Zuges, eine Verminderung des letzteren zur nothwendigen Folge hat; so kann unter der Voraussetzung, daß die Temperatur der inneren Schornsteinfläche und jene der äußeren Luft constant sei, angenommen werden, es sei die besagte Temperaturabnahme der Geschwindigkeit der warmen Luftsäule und dem Durchmesser des Schornsteins

---

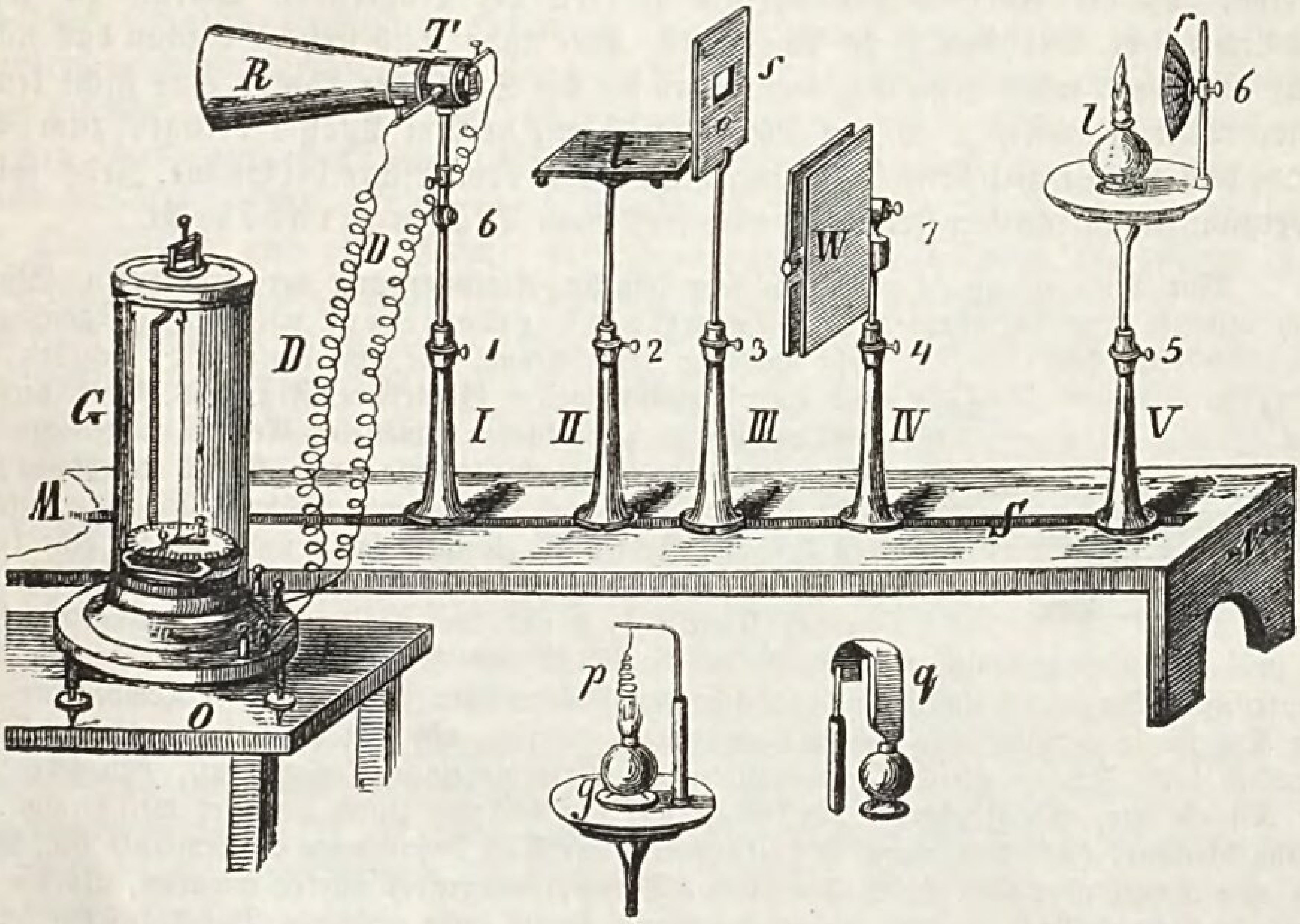
Oben ist nun anstatt der Länge l bei der Temperatur 0° die Länge H, welche die Luftsäule bei der Temperatur t hat, gesetzt, was rücksichtlich des Umstandes, daß der Unterschied zwischen t und 0° im Verhältniß zu jenem zwischen t_1 und t gewöhnlich gering ist, ohne bedeutenden Fehler geschehen kann, und eine Vereinfachung der Rechnung gewährt.

umgekehrt proportional und der Wärmeverlust stehe mit der Differenz der Temperaturen der inneren und der äußeren Luft in direktem, mit der Dicke der Schornsteinwand aber im verkehrten Verhältnisse. Uebrigens hängt dieser Verlust natürlich auch noch von der Höhe des Schornsteins ab und wäre, wenn die Temperatur der inneren Luft dieser ganzen Höhe nach constant bliebe, offenbar derselben proportional. Da die Temperatur sich aber fortwährend vermindert, so läßt sich das Gesetz der Abhängigkeit der Abkühlung von der Höhe des Schornsteins nur durch algebraische Formeln bestimmen und ausdrücken.

390. Wärmestrahlung. Daß die Wärme sich strahlend, d. h. (nach **365**) so fortpflanzen könne, daß sie von einem materiellen Theilchen oder Körper zu einem andern gelangt, ohne dazu (der Erwärmung) der dazwischen befindlichen zu bedürfen, wird durch unzählige Erscheinungen bewiesen, und folgt nothwendig unter Andern auch schon aus dem Faktum, daß ein empfindliches Thermometer augenblicklich steigt, wenn man selbst in nicht unbedeutender Entfernung über dasselbe frei in der Luft ein Metallgefäß mit heißem Wasser oder einem andern hinreichend warmen Körper bringt. Denn offenbar läßt sich dieses Steigen weder aus der Leitung der Wärme durch die Luft, noch aus der zweiten (S. 903) kennen gelernten Art, in welcher die Wärme durch die Luft sich verbreiten kann, und welche in einer von der Wärmequelle ausgehenden Bewegung der durch sie erwärmten Lufttheilchen besteht, erklären: aus der Leitung nicht, weil diese, wie wir von früher her (S. 904) wissen, von oben nach unten nur äußerst langsam und schlecht vor sich geht, und aus der besagten Bewegung der Lufttheilchen nicht, weil diese als spezifisch leichter von der Wärmequelle aus in die Höhe steigen, sich also von dem Thermometer entfernen müssen.

391. Nachweisung der Gesetze der strahlenden Fortpflanzung der Wärme. Hierzu eignet sich vorzüglich ein der Hauptsache nach von Melloni erdachter Apparat, bei welchem den wesentlichsten Bestandtheil der Thermomultiplikator ausmacht, den wir bereits in **261** und **262** seiner Einrichtung nach und als das empfindlichste Instrument zur Nachweisung von Temperaturveränderungen und zum Messen von Temperaturunterschieden kennen gelernt haben. Es ist dieser Melloni'sche Apparat in Fig. 757 abgebildet. **MN** ist ein (gewöhnlich hölzernes) Gestelle, längst welchem in einem Schlitze **S** mehrere hohle Säulen **I, II . . . V** verschiebbar sind, die sich durch Anziehen von Schraubenmuttern, welche an den untern, aus dem Schlitze nach abwärts hervorstehenden Enden aufgeschraubt sind, in beliebigen gegenseitigen Entfernungen feststellen lassen, und Träger (für gewisse Gegenstände) enthalten, die darin mittelst Klemmschrauben 1, 2 . . . 5 in verschiedener Höhe fixirt werden können. **T** ist eine sehr empfindliche thermoelektrische Säule (**262**), welche auf der einen Seite einen der Reflectoren (**R**) aufgesteckt hat, von welchen in **262** Erwähnung geschah, und deren Zweck wir nun bald einsehen werden. Da der Träger der Säule **T** sich in **I** herumdrehen läßt und bei 6 ein Scharnier hat, so kann der Thermosäule jede Wendung und Neigung gegeben werden. Zur Seite (auf einem Tische **O**) steht in passender Entfernung das zur Thermosäule gehörige Galvanometer **G**, welches durch Drähte **D**, **D** mit den Polen der Säule vereinigt ist. Der tischchenförmige Träger in **V** dient zur Aufstellung einer Lampe l oder anderer Wärmequellen, und die Träger in **III** und **IV** tragen metallene Schirme **S** und **W**. Der Schirm **S** besteht aus mäßig dickem Messingblech, hat in der Mitte eine rechteckige Oeffnung **o**, läßt sich aus dem obern gabelförmigen Ende seines Trägers, worin er mit Federung steckt, leicht herausziehen und nachher durch einen beliebigen andern ersetzen. Der Schirm **W** besteht aus zwei unter einander vereinigten parallelen, an der Oberfläche wohl geglätteten, durch eine Luftschichte getrennten Platten aus Messingblech und ist in einem Klemmscharniere 7 in vertikaler Ebene dreh-

Fig. 757.



und feststellbar, so daß man ihn nach Bedarf zwischen die Wärmequelle und die Oeffnung in **S** bringen oder aus der Verbindungsrichtung beider entfernen kann. Das Tischchen **t** in **II** endlich dient, um darauf die Körper zu stellen, welche der Wirkung der Wärme auszusetzen sind, die von der Wärmequelle der Thermosäule zugesendet wird. Mit diesem Apparate läßt sich nun beweisen, daß die Wärme in der nämlichen Art sich fortpflanzen und dabei eben so und unter ähnlichen Umständen eine Reflexion, Brechung (die einfache und doppelte), Beugung, Interferenz und Polarisation erfahren könne, wie das Licht, und wir wollen jetzt in den folgenden Absätzen sehen, wie sich dieser Beweis herstellen läßt, und zugleich die Gesetze der besagten Fortpflanzung kennen lernen.

392. Richtung und Geschwindigkeit der strahlenden Wärmefortpflanzung. Nimmt man den Reflector **R** von der Säule **T** weg, schließt diese auf der nämlichen Seite durch einen anstatt **R** aufgesteckten Messingdeckel (S. 564), entfernt den Tisch **t**, ordnet den Träger **III** mit dem Schirme **S** so an, daß die Oeffnung **o** darin gerade zwischen die Flamme der Lampe auf dem Tische in **V** und die zweite, der Flamme zugekehrte, ebenfalls mit einem Messingdeckel bedeckte Seite der Thermosäule zu stehen kömmt, bringt endlich den Schirm **W** in **IV** der Art irgendwo zwischen die Lampe und den Schirm **S**, daß alle geraden Linien, die man sich von der Flamme aus durch die Oeffnung **o** auf die zuletzt bezeichnete Seite der Thermosäule hin gezogen denken kann, auch durch den Schirm **W** gehen, und entblößt nun diese Seite der Säule durch Abnehmen des betreffenden Deckels; so gibt die Galvanometernadel kein Anzeichen einer von der Lampe aus auf die Thermosäule stattfindenden Wärmewirkung. In dem Augenblick hingegen, wo der Schirm **W** aus der Richtung der besagten geraden Linien entfernt wird, zeigt die Nadel durch einen Ausschlag eine solche Einwirkung an, zum Beweis, daß die strahlende Wärme sich nur nach gerader Richtung fortpflanzen kann, und daß dies mit sehr großer Geschwindigkeit geschehe. (Von Wrede glaubt aus Untersuchungen eigener Art, die jedoch hier nicht näher be-

sprochen werden können, (aus Beobachtungen und Messungen der Ungleichheit der Aberration der Wärme und des Lichtes in den Sonnenstrahlen) schließen zu dürfen, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der strahlenden Wärme zu jener des Lichtes im Verhältniß 20·25 : 24·03, oder nahe 4 : 5 stehe.) Genau das nämliche Resultat wird erhalten, wenn man an die Stelle der Lampe eine nicht leuchtende Wärmequelle, z. B. ein Metallgefäß mit heißem Wasser bringt, zum Beweis, daß die beschriebene Wirkung nicht etwa vom Lichte herkomme. Jede solche Fortpflanzungsrichtung stellt das vor, was man Wärmestrahl heißt.

Man kann die geradlinige und sehr schnelle Fortpflanzung der strahlenden Wärme auch mittelst eines sogenannten Differenzialthermometers nachweisen. Dasselbe besteht nach der Einrichtung, die ihm Rumford gegeben hat, aus einer ziemlich weiten Glasröhre, Fig. 758, die beiderseits rechtwinklig zu zwei kurzen parallelen Armen aufgebogen ist, deren jeder am Ende eine dünnwandige Kugel angeblasen hat. Das immer horizontal zu stellende Röhrenstück ab zwischen den besagten Armen ist ziemlich lang und enthält eine kurze Säule c (mit Karmin) gefärbter Schwefelsäure, welche die in den Kugeln 1, 2 und der übrigen Röhre enthaltene Luft in zwei Parthien getrennt erhält und für die längst dem Röhrenstücke ab angebrachte, auf empirischem Wege bestimmte Scale, welche den jedesmaligen Unterschied der Temperatur beider Kugeln in gewöhnlichen Thermometergraden angibt, als Inder (Zeiger) dient. Haben nämlich beide Kugeln gleiche Temperaturen, so wirkt die eingeschlossene Luft, von jeder dieser Kugeln her, mit gleicher Expansivkraft auf den besagten Inder, und er weis't nun, in Ruhe bleibend, (mit dem einen Ende) auf den mit Null bezeichneten Scalenpunkt hin. Wird die eine Kugel aber (um 1, 2, 3 u. s. w. Thermometergrade) stärker erwärmt, als die andere, so übt die Luft in der ersteren wärmeren Kugel einen größeren Druck auf den Inder, als von der kälteren Kugel her, derselbe wird sich also nach dieser hin bewegen, und mit seinem Ende auf den mit 1, 2, 3 u. s. w. bezeichneten Scalenpunkt zeigen. An Lesli's Differenzialthermometer (Fig. 759) hat die Röhre ein enges Kaliber, lange aufgebogene Schenkel und ein ganz kurzes Zwischenstück; die Flüssigkeit (ebenfalls gefärbte Schwefelsäure) ist in solcher Menge vorhanden, daß sie den einen Schenkel ganz bis in die Kugel hinein, den andern nur zum Theil ausfüllt, und längst dieses letzteren Schenkels ist die Scale angebracht. Schmidt hat Alkohol und Howard Aether der von Lesli angewendeten Schwefelsäure substituirt, um das Instrument empfindlicher zu machen, indem da bei Erwärmung einer Kugel zur Wirkung der Luft auf die Flüssigkeit nicht bloß die Ausdehnung der bereits vorhandenen Dünste, sondern auch die Expansivkraft der zu Folge der Erwärmung entstehenden neuen Dünste hinzukömmt.

Fig. 758.

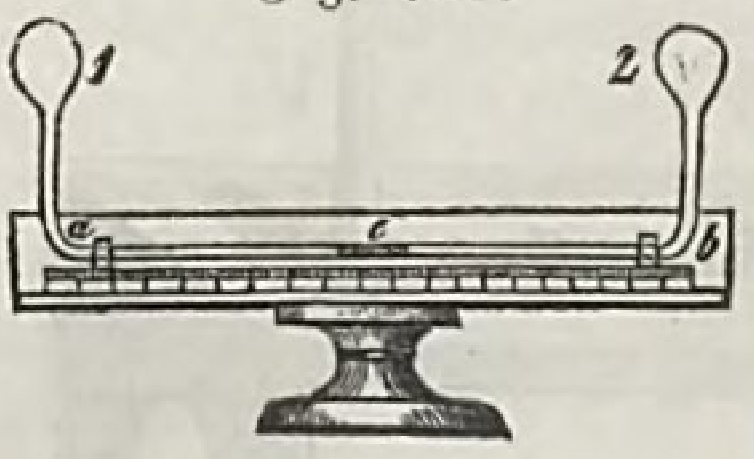
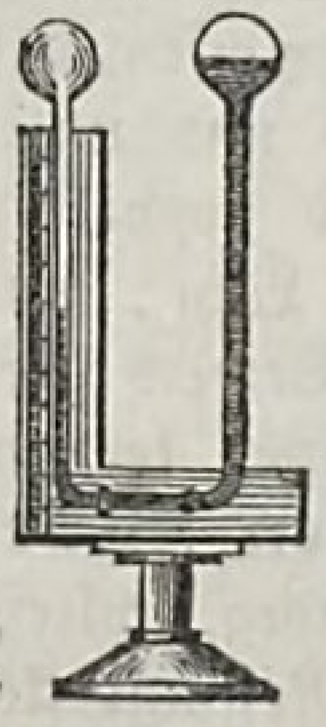


Fig. 759.



Um nun mittelst eines Differenzialthermometers die geradlinige und schnelle Fortpflanzung der strahlenden Wärme darzuthun, schütze man die eine Kugel durch Umhüllung, z. B. mit glattem Papier, vor dieser Wärme. Bringt man dann der entblößt gebliebenen zweiten Kugel in einiger (in selbst nicht unbedeutender) Entfernung gegenüber einen erhitzten Metallkörper an, so zeigt die in dem nämlichen Augenblicke eintretende Bewegung des Inder nach der umhüllten Kugel hin die schnelle Fortpflanzung der Wärme zu der entblößten Kugel an und der Umstand, daß alle Wärmeeinwirkung auf diese Kugel von Seite des heißen Metallkörpers sogleich aufhört (der Inder sehr bald an seinen ursprünglichen Platz wieder zurückkehrt), wenn man vor die entblößte Thermometerkugel auf der Seite gegen den besagten Metallkörper eine Papier- oder Pappendeckelscheibe in solcher Größe und Stellung bringt, daß man sich von keinem Punkte des Metallkörpers zu einem Punkt der entblößten Kugel eine gerade Linie gezogen denken kann, ohne daß sie durch die Scheibe geht, beweist, daß die Wärme sich geradlinig fortpflanzt. Seit man im Besitze der Thermosäule ist, sind die Differenzialthermometer, die sonst vorzüglich für strahlende Wärme angewendet wurden, fast ganz außer Gebrauch gekommen. — Die strahlende Wärme des offenen Kamins oder Ofens ist es, welche dem Kamin oder Ofen gegenüber schon empfunden wird, und das Eis an den Fensterscheiben aufthauen macht, wenn die Luft im Zimmer noch eiskalt ist.

393. Das Ausstrahlungsvermögen. In wie fern die Körper Wärmestrahlen aussenden, schreibt man ihnen ein Ausstrahlungs- oder Emissionsvermögen für die Wärme zu. Dieses und mithin die Menge der

von ihnen ausstrahlenden Wärme hängt von der materiellen Beschaffenheit, von der Dichte und von der Oberfläche der betreffenden Körper ab, wächst unter sonst gleichen Verhältnissen mit der Temperatur der letzteren und ist von der Temperatur ihrer Umgebung völlig unabhängig, so lange diese Temperatur jene der ausstrahlenden Körper selbst nicht ändert. Nach Melloni's Versuchen mit der Thermosäule (wobei diese auf der, der Wärmequelle zugekehrten Seite einen Reflector [R Fig. 757] aufgesteckt hatte) läßt sich das Emissionsvermögen, jenes des Kienrußes = 100 gesetzt, für Bleiweiß, Wasser, Hausenblase, Glas, Tusch, Gummilack, Quecksilber und eine Fläche von Zinn, Kupfer oder Gold der Reihe nach durch die Zahlen 100, 100, 91, 90, 85, 72, 20 und 12 ausdrücken. Es sind jedoch diese Verhältnisse nicht für jede Temperatur der ausstrahlenden Substanzen die nämlichen. Ferner strahlen dichte Körper im Allgemeinen weniger Wärme aus, als weniger dichte, und es steht unter sonst gleichen Umständen das Emissionsvermögen im umgekehrten Verhältnisse mit der Dichte. Daher besitzt ein Metall im gegossenen Zustande ein größeres Ausstrahlungsvermögen, als im gehämmerten oder gewalzten; deswegen wird auch dieses Vermögen bei einer gewalzten und dann polirten Metallplatte durch Ritzen ihrer Oberfläche erhöht (denn das Walzen bewirkt eine Verdichtung an der Oberfläche und durch das Ritzen dieser letzteren werden die weniger dichten Stellen darunter bloßgelegt), und nur in so fern, als letzteres (das Bloßlegen weniger dichter Stellen) geschieht, findet die besagte Erhöhung statt; in Fällen, wo das Ritzen eine Steigerung der Härte oder Dichte bewirkt, hat es auch immer Schwächung des Ausstrahlungsvermögens zur Folge. Uebrigens bleibt dieses Vermögen dasselbe, so verschiedenartig auch die Wärmestrahlen sein mögen, von denen die Erwärmung ausgeht. Den Einfluß der Oberfläche überhaupt kann man (nach Lesli) leicht mittelst eines metallenen hohlen Würfels nachweisen, woran die sonst ganz gleichartigen Seiten mit verschiedenen Oberflächen versehen sind, z. B. die eine mit Kienruß geschwärzt, die zweite mit Glas bedeckt, die dritte fein polirt und die vierte durch Ritzen rauh gemacht ist. Wird nämlich dieser Würfel mit warmen Wasser gefüllt und der Thermosäule (oder, wie dies Lesli that, einem metallenen Hohlspiegel, in dessen Brennpunkt sich die Kugel eines empfindlichen Thermometers befindet,) gegenüber aufgestellt; so erhält man verschieden starke Wärmeanzeigen, jenachdem die eine oder die andere Seitenfläche des Würfels der Thermosäule (oder dem Hohlspiegel) zugewendet wird. Die Wirkung ist am schwächsten bei der polirten Metallfläche und zeigt sich in, der Reihe nach steigendem Grade bei der Glas-, der geritzten Metall- und der berußten Fläche.

Hieraus ergibt sich: daß Körper, welche die Wärme leicht von sich zu geben haben, wie Oefen, die Leitungsröhren bei der Wasser- und Dampfheizung (S. 873 und 904) u. s. w., eine rauhe und wo möglich nicht metallische Oberfläche erhalten sollen, während eine glatte, vorzüglich eine polirte Metalloberfläche bei allen Körpern angezeigt ist, welche, wie z. B. die Mäntel bei den Mantelöfen (S. 904), die Röhren, durch die in Badehäusern das heiße Wasser aus dem Kessel den Wannen und bei Dampfmaschinen der Dampf dem Cylinder zugeleitet wird, dieser Cylinder selbst u. s. w. wenig Wärme ausstrahlen sollen; die Erklärung der Entstehung des Thaues (S. 885); warum erdiger und mit Pflanzen bedeckter (also rauher) Boden in der Nacht durch Wärmeausstrahlung schneller erkaltet als steiniger und gepflasterter Boden; warum Körper mit rauher Oberfläche stärker bethauen als mit glatter (S. 585) u. s. f.

Die Intensität der Wärmestrahlen nimmt mit Zunahme der Entfernung von der Wärmequelle im quadratischen Verhältnisse ab und wächst allem Anscheine nach im einfachen Verhältnisse mit dem Sinus ihres Ausstrahlungswinkels.

Ein und derselbe Körper sendet bei verschiedenen Temperaturen Wärmestrahlen verschiedener Beschaffenheit aus und nach de la Provostaye und Desains sind auch die Wärmestrahlen, welche verschiedene Körper bei der nämlichen Temperatur aussenden, verschieden. Die Ausstrahlung geht übrigens nicht nur

von der äußern Oberfläche, sondern auch von den Punkten aus, die bis zu gewisser (nach Melloni) von der Beschaffenheit der ausstrahlenden Substanz abhängigen, oft sehr beträchtlichen Tiefe unter der äußern Oberfläche liegen, wie das zuerst von Rumford nachgewiesene Faktum beweist, daß eine Schichte einer und derselben immer auf gleiche Temperatur gebrachten Substanz desto stärker ausstrahlt, je dicker (natürlich nur bis zu einer gewissen Grenze) diese Schichte ist. Bei manchen Körpern, z. B. bei dem Golde, ist schon bei der dünnsten Schichte die Dicke-Grenze erreicht, welche erforderlich ist, um die Wärmeausstrahlung auf das Maximum zu bringen.

394. Absorbtionsvermögen der Körper für die Wärme. Werden die Körper von Wärmestrahlen getroffen, so erfahren sie, wie schon allein die Wirkung auf die Thermosäule bei den Versuchen mit Melloni's Apparat beweiset, eine größere oder geringere Temperaturerhöhung. Man denkt sich daher, daß die Körper von diesen Strahlen mehr oder weniger aufnehmen (absorbiren) können, daß von den absorbirten Strahlen die besagte Temperaturerhöhung herrühre, und schreibt deswegen den Körpern ein Absorbtionsvermögen für die Wärme zu . . . . (1). Da jeder Körper, und zwar wie man der Erfahrung gemäß anzunehmen genöthigt ist, bei jeder Temperatur Wärme ausstrahlt, andererseits aber Wärme aufnimmt und absorbirt; so muß, wenn in einem Systeme von Körpern Gleichgewicht (Beständigkeit) der Temperatur herrscht, offenbar jeder dieser Körper so viel Wärme empfangen als er abgibt, mithin desto mehr Wärme aufzunehmen vermögen, je mehr er in der nämlichen Zeit ausstrahlen kann, und man nennt das besagte Gleichgewicht mit Recht ein bewegliches. Mehr über Wärmeabsorbtion wird ein folgender Absatz enthalten.

395. Reflexion der Wärmestrahlen. So wie die Lichtstrahlen erleiden an der Trennungsfläche ungleichartiger Mittel auch die Wärmestrahlen eine Scheidung in zwei Theile, wovon der eine in das alte Mittel zurückgeht und der zweite ins neue Mittel eintritt. Ersterer erfährt also eine Reflexion; diese ist, wie beim Lichte, theils regelmäßig, theils zerstreut und geht überhaupt im Allgemeinen nach den nämlichen Gesetzen vor sich, wie jene der Lichtstrahlen. Um die regelmäßige Reflexion darzuthun, deren Bedingung Glätte an den Stellen der Trennungsfläche ist, an welchen die Wärmestrahlen eintreffen, bringe man am Melloni'schen Apparate den Schirm **W** so zwischen die Wärmequelle l und die Thermosäule **T**, daß von ersterer zu letzterer direkt keine Strahlen gelangen können. Stellt man dann außerhalb der Richtung, in welcher der Schirm **W** den Wärmestrahlen von l nach **T** hin den Weg absperrt, eine ebene, wohlpolirte Metallplatte in der Art auf, daß, wenn von l aus Lichtstrahlen auf die Platte fielen, dieselben von dieser der nach l gekehrten Fläche von **T** zugeworfen würden, so zeigt die Magnetnadel des Multiplikators sogleich eine Wärmewirkung auf die Thermosäule an. Diese Wirkung nimmt mit der Glätte der Plattenoberfläche ab und bei ganz rauher Oberfläche findet nur mehr Zerstreuung (Diffusion) der Wärmestrahlen statt. Auf gleiche Weise überzeugt man sich leicht, daß die Intensität der reflektirten Wärme auch von der Neigung der einfallenden Strahlen, und von der Natur der reflektirenden Körper abhänge, daß namentlich metallische Körper ein größeres Reflexionsvermögen besitzen, als nicht metallische und daß Vermehrung der Härte an der Oberfläche dieses Vermögens erhöht u. s. w.

Der Beweis für die eben besagte Zerstreuung oder Diffusion der Wärme muß, der Beschränktheit des Raumes wegen, hier übergangen werden; man findet ihn unter Andern in Pogg. Ann. B. 52 S. 429. Kienruß und animalische Kohle bewirken eine äußerst geringe, und für alle Wärmestrahlengattungen gleiche Zerstreuung; anders verhält es sich mit den übrigen Körpern, besonders den weißen, welche die Strahlen von glühenden Körpern stark, die aus Quellen von minderer Temperatur kommenden aber schwach zerstreuen. Die zerstreuende Kraft der Metalle ist im Allgemeinen noch größer, als die der weißen Körper,

und nähert sich in Bezug auf Unveränderlichkeit jener des Kienrußes. Die Metalle wirken auf Wärmestrahlen, wie weiße Körper auf das Licht: sie reflektiren die Wärme jeder Art und Quelle mit gleicher Intensität. Uebrigens wird, nach Knoblauch, zu Folge ungleicher Absorbtion die Wärme durch diffuse Reflexion in sehr verschiedener Weise, von einigen Körpern in hohem Grade, von andern gar nicht verändert, und es ist bei nicht polirten Körpern diese Veränderung vom Grade der Rauhheit unabhängig, wohl aber durch die materielle Beschaffenheit der reflektirenden Körper und durch die Natur der Wärmequellen bedingt und überhaupt immer Folge einer auswählenden Absorbtion der reflektirenden Körper für gewisse unter den ihnen zugesendeten Wärmestrahlen.

Uebrigens ist die Wärme verschiedener Quellen an allen nicht metallischen Körpern der Reflexion auf gleiche Weise unterworfen. Nach de la Provostaye und Desains geben die den im Folgenden aufgezählten Metallen nachstehenden Zahlen die Wärmeprozente an, die diese Metalle bei einem Einfallswinkel von 50° reflektiren: Silberplattirung (gut polirt) 0·97, Kupfer 0·93, durch Hämmern polirtes Messing 0·93, geschlagenes, dann durch Reiben polirtes Messing 0·92, gefirnißtes Kupfer 0·86, frisch polirtes Spiegelmetall 0·85, Zinn 0·85, etwas angelaufenes Spiegelmetall 0·82, gehärteter Stahl 0·82, Zink 0·81, Eisen 0·77, auf Glas geklebtes Blattsilber 0·73.

Aus dem Vorstehenden erklärt sich: Die Anwendung der metallenen Reflektoren (R Fig. 757), welche konische, innerlich sorgfältig polirte Kupferröhren sind, um, indem sie die auf der polirten Fläche auffallenden Wärmestrahlen concentrirt der Thermosäule zusenden, die Wirkung derselben auf letztere zu erhöhen; die große Hitze, welche in den Brennpunkten der Hohlspiegel entsteht, wenn auf sie direkte Sonnenstrahlen fallen, da diese außer Licht- auch Wärmestrahlen enthalten; warum, wenn man zwei metallene Hohlspiegel in der auf S. 329 angegebenen Art einander gegenüberstellt, im Brennpunkte des einen Kohlen zu lebhaftem Glühen anfacht und in den Brennpunkt des zweiten ein Stück Feuerschwamm hält, dieser sich entzündet, wenn beide Spiegel auch einige Klafter und mehr von einander entfernt sind (indem nämlich hier die von dem einen Brennpunkte ausgehenden Wärmestrahlen in dem zweiten Brennpunkte aus demselben Grunde, wie bei dem auf S. 329 beschriebenen Experimente die Schallstrahlen, concentrirt werden; warum ein mit der Kugel in den Brennpunkt des einen der beiden Hohlspiegel gebrachtes Thermometer schnell und auffallend sinkt, wenn man in den Brennpunkt des zweiten Spiegels ein Stück Eis hält, so daß es scheint, als finde eine Kältestrahlung statt (die Thermometerkugel erkaltet, weil sie nach **392** vermög ihrer höheren Temperatur in einer und derselben Zeit mehr Wärme ausstrahlt, als das Eis, ihr mithin von diesem her durch Reflexion an den Spiegeln in jedem Augenblicke weniger Wärme zugesendet wird, als durch die nämliche Reflexion von ihr an das Eis übergeht); warum an Melloni's Apparat (Fig. 757) die Wärmequelle auf dem Tische V vor einen metallenen Hohlspiegel r gestellt wird, wenn man der Thermosäule convergirende oder parallele Wärmestrahlen zusenden will, und warum die Schirme **S** und W an diesem Apparate und überhaupt alle Körper, die so wie die besagten Schirme durch strahlende Wärme möglichst wenig erwärmt werden (mithin die meisten Wärmestrahlen reflektiren und so wenig als möglich in sich aufnehmen) sollen, mit glatter, am besten polirter metallischer Oberfläche zu versehen sind u. s. w.

396. Transmission und Brechung der Wärmestrahlen. Von den gemäß **395** in das neue Mittel eintretenden Wärmestrahlen wird jeder, der auf die Trennungsfläche nicht senkrecht einfällt, von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, d. i. gebrochen, geht dann in dem neuen Mittel, so lange es gleichartig ist, wieder geradlinig fort, erfährt aber auf seinem Wege durch Absorbtion je nach Umständen mehr weniger eine Schwächung oder aber eine gänzliche Vernichtung, so daß ein geringerer oder größerer oder aber gar kein Antheil desselben durch das besagte neue Mittel hindurchgeht (transmittirt wird). Die Körper verhalten sich demnach in Bezug auf Durchgänglichkeit für die Wärmestrahlen gegen diese Strahlen ganz ähnlich wie die durchsichtigen (diaphanen) und die undurchsichtigen (adiaphanen) Körper gegen die Lichtstrahlen. Man unterscheidet daher auch für die Wärmestrahlen durchgängliche und undurchgängliche Substanzen und nennt, nach Melloni, die ersteren diatherman, die letzteren atherman; man spricht auch mit Recht von einem Transmissionsvermögen der Körper für die Wärme. Um zu erfahren, ob Körper diatherman sind oder nicht und um die Gesetze der Diathermanität nachzuweisen, bringt man die Körper in entsprechender Form und Stellung mittelst passender Postament-

chen auf dem Tische t des Melloni'schen Apparates (Fig. 757) unmittelbar vor die Oeffnung o des Schirmes S in die Richtung der von der Wärmequelle der Thermosäule zugesendeten Strahlen. Ist die Wärmequelle und ihre Entfernung von der Thermosäule constant und man mißt zuerst, wenn die Wärmequelle der Säule unmittelbar die Strahlen zusendet und hierauf, nachdem der zu untersuchende Körper in die Richtung dieser Strahlen gebracht worden, abermals die Ablenkung der Multiplikatornadel, so ergibt sich aus beiden Ablenkungen das Verhältniß der von diesem Körper durchgelassenen zu den von der Wärmequelle ausgegangenen Strahlen und aus den für verschiedene Körper bestimmten derartigen Verhältnissen der Diathermanitätsgrad dieser Körper. Ist der in Untersuchung genommene Körper atherman, so hebt er die Wirkung auf die Thermosäule ganz auf, so daß die Multiplicatornadel in ihre natürliche Stellung zurückkehrt. Auf diesem Wege wurde gefunden, daß die Diathermanität der Körper mit ihrem Grade der Durchsichtigkeit in keinem näheren Zusammenhange steht, indem manche Körper, wie Steinsalz, Kalkspath, Gyps, Alaun fast gleich durchsichtig, aber in sehr ungleichem Grade diatherman, andere Körper, wie Kienruß, schwarzes Glas und Rauchtopas von hinreichender Dicke ganz undurchsichtig, aber diatherman sind, und wieder andere Substanzen, z. B. Wasser, Durchsichtigkeit im hohen und Diathermanität in sehr geringem Grade besitzen. Der diathermanste aller bekannten Körper ist das Steinsalz. Uebrigens werden aus verschiedenen Quellen kommende Wärmestrahlen von einem und demselben diathermanen Körper nicht in gleicher Menge durchgelassen; als die einzige Ausnahme in dieser Beziehung sah man seither das eben genannte Steinsalz an, welches man den Strahlen aller Wärmequellen gegenüber für in gleichem Grade diatherman hielt. Nach de la Provostaye und Desains (Compt. rend., vom 10. Jänner 1853, p. 84) läßt aber Steinsalz keineswegs alle Wärmestrahlensorten in gleichem Grade durch . . . (†) und zwar ungleicher Absorbtion wegen, mit welcher auch das Emissionsvermögen dieses Salzes im Verhältnisse steht. Am größten fanden sie die Diathermanität des Steinsalzes für die Wärmestrahlen der Sonne und der Lampen. Dem Satze (†) widerspricht in den Compt. rend. vom 25. April 1853, p. 709 Melloni entschieden, indem er durch seine neuerlich angestellten Versuche die Constanz der Durchbringlichkeit des Steinsalzes für Wärmestrahlen aller Art unzweideutig constatirt haben will.

Melloni hat das diesfällige Verhalten mehrerer Substanzen, die er alle in Gestalt von 2·6 Millimeter dicken Platten anwendete, bezüglich vier verschiedener Wärmequellen, nämlich der Flamme einer Oellampe (einer Locatellischen Lampe), einer glühenden Platinspirale, eines geschwärzten, auf 400° erhitzten Kupferbleches (siehe bei p und q Fig. 757 unterhalb des Postamentes M N) und eines geschwärzten Gefäßes aus Messingblech, worin siedendes Wasser enthalten war, untersucht und für die relativen Mengen der durchgelassenen Wärmestrahlen die in der folgenden Tabelle angegebenen Zahlen erhalten.

	Oelflamme	Platin	Kupfer	Wasser
Freie Strahlung der Wärmequelle	100	100	100	100
Steinsalz, klar	92	92	92	92
Steinsalz, durchsichtig	65	65	65	65
Flußspath, klar und farblos	78	69	42	33
Kalkspath, klar	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkrystall	38	28	6	0
Gyps, krystallisirter	14	5	0	0
Citronensäure	11	2	0	0
Alaun	9	2	0	0
Schwarzes, 1 Millimeter dickes Glas	26	25	12	0
Schwarzer, 0·9 Millimeter dicker Glimmer	20	20	9	0
Eis	6	0	0	0

Es verhalten sich demnach die diathermanen Körper gegen die Wärme in analoger Weise, wie die durchsichtigen Körper gegen das Licht; so wie nämlich diese die verschiedenen (verschiedenfarbigen) Lichtgattungen nicht in gleichem Maße durchlassen, so sind auch jene für Strahlen verschiedener Wärmequellen in verschiedenem Grade durchdringlich. Nach Knoblauch's Versuchen zeigt sich jedoch diese Verschiedenartigkeit der Strahlen verschiedener Wärmequellen nur bei höheren Temperaturen.

Uebrigens hat derselbe Forscher in neuester Zeit (in Pogg. Ann. 1852, Nro. 2) nachgewiesen, daß Wärmestrahlen durch gewisse Krystalle (braunen Bergkrystall, Beryll, Turmalin u. s. w.) nach verschiedenen Richtungen hin in ungleichem Verhältnisse durchgehen, und daß die nach verschiedenen Richtungen durch diese Krystalle gegangenen Strahlen nachher die Fähigkeit, eine und dieselbe diathermane Substanz zu durchdringen, in ungleichem Grade besitzen, also in qualitativer Hinsicht von einander verschieden sind. Auch fand er, daß die Durchgänglichkeit der Körper für Wärmestrahlen einer und derselben Quelle mit der Temperatur zunimmt, (diese Zunahme hat für Glas auch Wilhelmy nachgewiesen,) es steht aber der Durchgang der strahlenden Wärme durch diathermane Körper in keinem direkten Zusammenhange mit der Temperatur ihrer Quelle, sondern ist nur von der Beschaffenheit der diathermanen Substanzen abhängig, welche von gewissen Wärmestrahlen in höherem Grade als von andern durchdrungen werden, diese mögen bei niederer oder höherer Temperatur entstanden sein.

Um sich von der Brechung der Wärmestrahlen zu überzeugen, ordne man am Melloni'schen Apparate nach Entfernung des Schirmes **S** den Schirm **W** so an, daß eine auf den Tisch in **V** gebrachte Wärmequelle der Thermosäule keine Strahlen zusenden kann. Stellt man hierauf (etwa mit Hülfe einer auf den Tisch t in **II** gelegten größeren Platte) zwischen Wärmequelle und Thermosäule, aber außerhalb der beide verbindenden Richtung und seitwärts von **W**, ein dreiseitiges Prisma aus einem sehr diathermanen Stoffe, am besten aus Steinsalz, vertikal so auf, daß dessen Basis der eben besagten Verbindungsrichtung zugewendet ist, und die eine Seitenfläche von den Strahlen der Wärmequelle getroffen werden kann; so wird man durch entsprechende Verrückung des Prismas und Drehung desselben um seine Axe es leicht dahin bringen können, daß eine Wärmewirkung auf die Thermosäule durch eine Abweichung der Multiplikatornadel sich kund gibt, zum Beweis, daß die auf das Prisma gelangten Wärmestrahlen durch Brechung von ihrer ursprünglichen Richtung nach der Thermosäule hin abgelenkt worden sind. Da die besagte Wirkung auf die Thermosäule nur nach einer bestimmten Richtung stattfindet, so kann sie nicht Folge der stattgefundenen Erwärmung des Prisma's sein. Ueber den Grad der Brechbarkeit verschiedener Wärmegattungen weiß man mit Bestimmtheit, daß von heißeren Wärmequellen ausgesendete Strahlen stärker gebrochen werden, als die von weniger heißen herkommenden und daß das Brechungsverhältniß der Strahlen von mittlerer Brechbarkeit bei der Wärme kleiner ist, als beim Lichte. Die Brechbarkeit der Wärme folgt auch daraus, daß man mittelst einer Sammellinse aus Steinsalz selbst dunkle Wärme in einem Focus concentriren kann. Die große Hitze, die im Brennpunkte einer von der Sonne beschienenen Glaslinse entsteht, kommt von dieser Concentrirung der im Sonnenlichte vorhandenen Wärmestrahlen.

Was die Absorbtion und die daraus folgende Schwächung anbelangt, welche, wie wir aus dem Vorhergehenden wissen, die in einen Körper (das neue Mittel) eintretenden Wärmestrahlen erfahren, so hängt dieselbe der Erfahrung gemäß von der Materie des betreffenden Körpers, von der Beschaffenheit seiner Oberfläche, von der Dicke desselben (von dem Wege, den die Wärmestrahlen darin zurücklegen) und von der Wärmequelle ab, aus welcher die Strahlen kommen, und steht bei diathermanen Substanzen natürlich mit der Diathermanität im verkehrten Verhältnisse. Je härter und elastischer ein Körper ist, desto weniger Wärme absorbirt er. Nur in wiefern die Körper beim Poliren an ihrer Oberfläche eine Erhöhung der Dichte, Härte und Elastizität erfahren, beträgt die Absorbtion bei polirter Oberfläche weniger als bei rauher. Körper, welche wie z. B. Elfenbein, Marmor,

Gagat, die Zusammendrückung, die sie beim Poliren erfahren, nicht zu bewahren vermögen, absorbiren im polirten Zustande eben so viele Wärme wie im unpolirten und rauhen. Je dicker ein Körper nach der Richtung ist, in welcher Wärmestrahlen in denselben eindringen, desto mehr absorbirt er von diesen; jedoch nicht in jeder gleich dicken Schichte eines diathermanen Stoffes wird derselbe aliquote Theil der eindringenden Strahlen absorbirt, sondern in den ersteren Schichten ein größerer als in den folgenden, und, sind die Strahlen bereits durch eine gewisse Anzahl Schichten gegangen, so erleiden sie dann in den weiteren Schichten keine merkliche Absorbtion mehr, so daß es den Anschein hat, als hätten schon diese ersteren Schichten alle absorbirbaren Antheile zurückgehalten. Ebenso lehrt die Erfahrung, daß oft Strahlen, welche bereits ein diathermanes Mittel passirt haben, durch ein anderes Mittel gehen können, ohne durch Absorbtion weiter geschwächt zu werden. Uebrigens ist das Gesetz, nach welchem die Schwächung der Wärmestrahlen durch Absorbtion mit der Dicke des betreffenden diathermanen Stoffes wächst, eben so für verschiedene Wärmequellen verschieden, wie ein und derselbe Körper von aus verschiedenen Quellen kommenden Wärmestrahlen ungleiche Mengen absorbirt. Nach Melloni's Versuchen absorbirt von den Wärmestrahlen des glühenden Platins irgend ein blankes Metall 13·5, Gummilack 47, Hausenblase 54, Bleiweiß 56, Tusch 95, wenn der Kienruß von diesen Strahlen die Menge = 100 absorbirt, während durch die nämlichen Stoffe von den Strahlen eines auf 400° erhitzten Kupferbleches Mengen absorbirt werden, die nach der Reihe der aufgezählten Stoffe im Verhältniß der Zahlen 13, 70, 64, 89, 87 und 100 stehen. Unter allen Körpern besitzt nur der Kienruß ein gleiches Absorbtionsvermögen für die Strahlen sämmtlicher Wärmequellen, und zugleich ist dieses Vermögen so groß, daß er fast alle ihn treffende Strahlen absorbirt, wo hingegen die Metalle nur ein sehr geringes Absorbtionsvermögen besitzen, weswegen man gut thut, die den Wärmestrahlen auszusetzende Fläche der Thermosäule oder die Kugel eines Differenzialthermometers mit Kienruß zu schwärzen. Die durch die eingestrahlte Wärme bewirkte Temperaturerhöhung ist, nach Knoblauch, bei gleicher Intensität der eingestrahlten Wärme unabhängig von der Temperatur ihrer Quelle, und nur allein durch die Natur der absorbirenden Substanzen bedingt. Ein Körper erwärmt sich innerhalb gewisser Grenzen desto mehr, je dicker er ist und zwar in um so höheren Grade, je weniger er für die ihm zugesendeten Strahlen diatherman ist.

Aus Vorstehendem erklärt sich unter Rücksichtnahme auf den schon früher einmal ausgesprochenen Satz, daß die Temperaturerhöhung, welche Körper, die von Wärmestrahlen getroffen werden, erfahren, von den absorbirten Antheilen dieser letzteren herkomme: warum Flüssigkeiten in Töpfen oder Kesseln mit rauher, insbesondere berußter Oberfläche schneller kochen; warum über lockerem, grasfreiem Boden, z. B. um Bäume herum, auf Maulwurfshaufen, dann über mit Erde bestreuten Stellen u. s. w. der Schnee immer früher wegschmilzt; warum man die Wände, an welchen Pfirsich- oder andere Wärme liebende Bäume gepflanzt sind, an der den Bäumen zugewendeten Seite schwärzt; warum durch die Sonnenstrahlen der Erdboden stärker erwärmt wird, als das Wasser in Seen und Flüssen (**143**); warum durch die weise Natureinrichtung, daß Blätter und andere Pflanzentheile auf der dem Himmel zugewendeten Seite eine glatte, auf jener, die dem Erdboden zugekehrt ist, hingegen eine rauhe Oberfläche haben, die Pflanzen bei Tage gegen eine zu starke Erhitzung (zu Folge Aufnahme und Absorbtion der Sonnenstrahlen, welche die glatte Oberfläche verhütet) und zur Nachtzeit gegen eine zu starke Abkühlung (zu Folge Wärmeausstrahlung) gesichert werden, (durch die untere, rauhe Oberfläche nehmen sie nämlich für die von ihnen ausgestrahlte Wärme in jedem Augenblicke Ersatz aus dem Erdboden, der die unter Tags reichlich aufgenommene Sonnenwärme zur Nachtzeit wieder ausstrahlt). Aus dem Umstande, daß ein Körper desto weniger Wärme durchläßt, je mehr er reflektirt, und daß an jeder Trennungsstelle ungleichartiger Schichten eine solche Reflexion stattfindet, erklärt sich: die bekannte warmhaltende Eigenschaft der Gegenstände und Substanzen, worin Schichten ihrer Materie mit Luftschichten (je öfter desto besser) abwechseln, wie dies z. B. bei Doppelfenstern und

Doppelthüren, bei Lagen aus Sägespänen, Moos, Heu, Stroh, Mist, (womit man im Winter die Fugen der Fenster verlegt, Bäume und andere Pflanzen, Brunnenröhren, Bassins und Wasserleitungsröhren umgibt oder bedeckt,) bei den aus zahllosen Abwechslungen von Flocken und Luft bestehenden Schneedecken, welche bekanntlich den Wintersaaten einen sichern Schutz gegen das Erfrieren gewähren, ferner bei den weiten und insbesondere mehrfach über einander angezogenen Kleidern, den Pelzwerken, den Federbetten u. s. w. der Fall ist.

In der besprochenen Brechung der im Sonnenlichte vorhandenen Wärmestrahlen endlich liegt der Grund, warum bei der Zerlegung dieses Lichtes durch ein dreiseitiges Prisma zugleich mit dem Farbenspektrum auch einen Wärmespektrum erhalten wird, das je nach der Substanz, aus welcher das zerlegende Prisma besteht, mehr oder weniger mit dem Lichtspektrum zusammenfällt, so daß sich in den verschiedenen Farben dieses letztgenannten Spektrums ungleiche Temperaturen zeigen und die höchste Temperatur im Gelb, im Orange, im Roth oder im dunkeln Raume außerhalb des Roth stattfindet, jenachdem ein Prisma mit Wasser, Schwefelsäure oder Alkohol gefüllt, eines aus Crownglas oder aus Flintglas angewendet wird u. s. w. Die Ursache dieser verschiedenen Lage des Wärmemaximums liegt, nach Melloni, in der Absorbtionskraft des Prismas, welcher zu Folge verschiedene Wärme-Elemente und je nach der materiellen Beschaffenheit desselben immer andere, ausgelöscht werden, und daher der Rest der Wärmestrahlung in einem Zustande von Zusammensetzung durchgelassen wird, der von dem vor der Incidenz ganz verschieden ist.

397. Doppelte Brechung und Polarisation der Wärmestrahlen. Um die Polarisation, deren auch die Wärmestrahlen fähig sind, nachzuweisen, macht man am Melloni'schen Apparate die Strahlen einer passenden Wärmequelle, z. B. einer glühenden Platinspirale, parallel. Zu diesem Ende werden sie zuerst durch eine Steinsalzlinse conzentrirt und nachher auf eine zweite solche Linse auffallen gelassen, die um ihre Brennweite von dem Concentrirungsorte entfernt ist. Diese Brennweite und der besagte Concentrirungsort wird natürlich mittelst der Thermosäule bestimmt, indem man den Abstand derselben von der betreffenden Linse mißt, bei welchem die durch letztere (die Linse) gegangenen Strahlen auf erstere (die Thermosäule) die intensivste Wirkung üben. Leitet man nachher diese parallelen Strahlen senkrecht auf eine Glimmersäule (d. i. ein System sehr dünner Glimmerblätter, in welche sich eine über Kohlenfeuer stark erhitzte dicke Glimmerplatte leicht spalten läßt, und welche nachher, 30—120 an der Zahl, parallel, und in der nämlichen Richtung, die sie vor der Spaltung gegen einander hatten, über einander gelegt werden), so gehen sie fast gar nicht durch. Läßt man sie hingegen schief auffallen, so wird ein Theil davon durchgelassen, welcher mit der Größe des Neigungswinkels bis zu einer gewissen Grenze wächst und bei einer aus 120 sehr dünnen Glimmerblättern bestehenden Säule unter einem Einfallswinkel von $33^{0}{\cdot}5$ ein Maximum erreicht. Hieraus folgt, daß die Wärmestrahlen in den ersteren Blättern durch Brechung die Eigenschaft erlangt haben, die folgenden ohne Verlust zu durchdringen, daß sie mithin durch Brechung polarisirt worden sind. Dasselbe ergibt sich auch, wenn man die parallelen Wärmestrahlen, etwa unter dem Winkel von 45^{0}, durch die in Rede stehende Glimmersäule leitet und sie dann mit einer zweiten aus eben so vielen und dünnen Blättern, wie die vorige bestehenden derartigen Säule auffängt. Es gehen da nämlich durch die letztere die Wärmestrahlen hindurch, wenn die Einfallsebenen auf beiden Glimmersäulen unter einander parallel sind, mit der Abweichung von diesem Parallelismus nimmt aber die Menge der durchgelassenen Strahlen ab und ist, wenn die besagten Einfallsebenen auf einander senkrecht stehen, am kleinsten. Man kann auch die parallelen Wärmestrahlen anstatt sie durch die erste Glimmersäule zu leiten, von dieser Säule unter dem Winkel von $33^{0}{\cdot}5$ reflektirt werden lassen. Fängt man sie dann mit der zweiten Säule auf, so werden sie von dieser in größter oder kleinster Menge durchgelassen, je nachdem die Einfallsebenen auf beiden Säulen gegen einander senkrecht, oder parallel sind. Es werden demnach die Wärmestrahlen auch durch Reflexion polarisirt. Nach Wartmann's Versuchen ist die zerstreute Wärme in der Atmosphäre ebenso

polarisirt wie das darin zerstreute Licht und es üben Magnetismus und Elektrizität auch auf die Polarisationsebene der Wärmestrahlen bei ihrem Durchgange durch gewisse Mittel eine Wirkung: erzeugen namentlich eine Drehung. De la Provostaye und Desains bestätigten diese Beobachtung Wartmann's und zeigten überdies bei Terpentinöl und Zuckerlösungen, daß die Drehung der Polarisationsebene der Wärmestrahlen in gleicher Art und im gleichen Sinne stattfinde, wie jene der Lichtstrahlen.

Die Doppelbrechung der Wärme läßt sich am einfachsten durch folgendes, von Knoblauch angegebenes Verfahren evident darthun. Man leite mittelst eines Heliostats Sonnenstrahlen durch eine vertikale enge Spalte (Knoblauch bildete dieselbe mittelst paralleler Stahlschneiden) in ein verfinstertes Zimmer, mache sie (die Strahlen) hier durch eine zweite Spalte gleicher Art hindurchgehen, welche etwa 10 Zoll von der ersteren entfernt und ihr parallel ist, und lasse sie dann auf eine natürliche Rhombenfläche eines Kalkspathes senkrecht auffallen. Wird nun die Thermosäule hinter dem Kalkspathe in horizontaler Richtung langsam vorübergeführt (etwa mittelst einer Mikrometerschraube), so zeigt sich bei einer bestimmten Stellung derselben an dem mit ihr vereinigten Multiplikator eine starke Ablenkung der Magnetnadel, und beim Weitergange der Säule findet anfangs ein beinahe gänzliches Verschwinden dieser Ablenkung, nachher aber die Wiederkehr derselben statt. Es zeigen sich demnach hinter dem Kalkspathe zwei vollkommen getrennte Wärmewirkungen und dies beweiset offenbar unzweideutig, daß die Wärmestrahlen in dem Krystalle ebenso doppelt gebrochen werden, wie die Lichtstrahlen. Die beiden durch Doppelbrechung in einem Doppelspathe hervorgebrachten Strahlengruppen fand Knoblauch in zwei aufeinander senkrechten Ebenen polarisirt. In der besagten Doppelbrechung liegt der Grund, warum auch Nicol'sche Prismen die Wärmepolarisation vollkommen zeigen, vorausgesetzt, daß Sonnenwärme angewendet wird.

Knoblauch experimentirte mit Sonnenwärme, der großen Intensität derselben und des Parallelismus ihrer Strahlen wegen. Die beiden Spalten, welche den Zweck haben, den zum Kalkspath gelangenden Strahlen eine so geringe horizontale Ausdehnung zu geben, daß sie nach ihrem Durchgange durch denselben von einander völlig getrennte Strahlengruppen bilden, sind zum sichern Gelingen des Versuches unerläßlich. Die Thermosäule, deren sich Knoblauch bediente, bestand aus 15 Wismuth- und Antimon-Stäben, welche, jeder 2·9 Centimeter lang und 1 Millimeter dick, in einer Ebene an einander gefügt und so zugeschrägt waren, daß die aus der Messingfassung hervorragenden Zusammenfügungsstellen bloß eine 2·7 Centimeter lange und 0·26 Millimeter breite, gerade Linie oder Kante bildeten . . . (†). Nur diese Kante war mit Ruß überzogen und beim Versuche stand sie natürlich immer den vorerwähnten Spalten parallel.

Bringt man zwischen die früher besprochenen zwei Glimmersäulen, während die Einfallsebenen auf beiden einander parallel sind, ein dünnes Gyps- oder Glimmerplättchen so, daß es von den, von der ersten Säule kommenden Strahlen senkrecht getroffen wird; so ändert dasselbe die Intensität der durch die zweite Säule gehenden Strahlen nicht, wenn sein Hauptschnitt zur Einfallsebene der Strahlen auf die Säulen parallel oder senkrecht ist, während sich bei jeder andern, dem Plättchen durch Drehung in seiner Ebene gegebenen Stellung eine Veränderung der besagten Intensität zeigt, zum Beweis, daß die Wärmestrahlen in dem Plättchen durch Doppelbrechung polarisirt wurden. In eben dieser Weise wird ein Wärmestrahl auch durch ein Nicol'sches Prisma polarisirt und verhält sich dann gegen ein zweites solches Prisma genau wie die in einem Nicol-Prisma polarisirten Lichtstrahlen.

398. Die Beugung und mithin auch die Interferenz der Wärme folgt unwidersprechlich aus der Thatsache, daß Wärmestrahlen, die durch eine enge Spalte geleitet werden, eben so, wie in demselben Falle die Lichtstrahlen (**335**), sich hinter dieser Spalte und senkrecht auf ihre Längenrichtung in einem größeren Verhältnisse ausbreiten, als dies geschehen könnte, wenn sie nach dem Durchgange durch die Spalte bloß in ihrer ursprünglichen geradlinigen Richtung fortgingen. Diese Thatsache selbst aber ergibt sich, nach Knoblauch, wenn man mittelst des Heliostates stets in derselben Richtung

erhaltene Sonnenstrahlen durch eine vertikale, von zwei Stahlschneiden gebildete, hohe und enge Spalte durchgehen macht, und die vorn in der Anmerkung unter (†) beschriebene lineare, der Spalte parallel gestellte Thermosäule in horizontaler Richtung hinter der Spalte (wieder mittelst einer Mikrometerschraube) vorüberführt. Knoblauch hat hierbei zugleich gefunden, daß die besagte Ausbreitung der Wärmestrahlen hinter der Spalte die unter Voraussetzung geradliniger Fortpflanzung berechnete desto mehr übertrifft, in je größerem Abstande von der Spalte die Messung vorgenommen wird, je enger diese Spalte und je weiter diese letztere von der Wärmequelle entfernt ist.

399. Natur der Wärme. Alles bisher über strahlende Wärme Vorgetragene zeigt die größte Uebereinstimmung zwischen ihr und dem Lichte, macht es im hohen Grade wahrscheinlich, daß sie so wie dieses das Resultat von Aetherschwingen sei, und spricht allerdings sehr nachdrücklich für die Voraussetzung, daß Wärme überhaupt ihrer Natur nach sich vom Lichte nicht wesentlich unterscheidet. Es gibt jedoch andererseits wieder Erscheinungen, welche mit dieser Voraussetzung nicht in Einklang zu bringen sind und daher der Annahme, Licht und Wärme seien identisch, immer noch gewaltig entgegenstehen.

Nach der von Ampere herrührenden Hypothese, welche auch die Ursache der Wärmephänomene in Aetherschwingungen sucht, findet rücksichtlich dieser letzteren zwischen Wärme und Licht nur der Unterschied statt, daß die der ersteren (der Wärme) zu Grunde liegenden Schwingungen in Wellen anderer Länge und mit anderer Stärke vor sich gehen. (Nach Melloni geht den Strahlen, welche eine größere Wellenlänge als das äußerste Roth und eine kleinere Wellenlänge als das äußerste Violet haben, die Fähigkeit ab, die Nervenhaut zur Lichtempfindung zu erregen, und nach Brücke liegt der Grund der Unsichtbarkeit besagter Strahlen darin, daß sie die optischen Medien des Auges gar nicht durchdringen können.) In ein näheres Detail dieser ohnehin noch sehr der weiteren Ausbildung bedürftigen Hypothese einzugehen, dürfte außer der Bestimmung dieses Buches liegen und nach der in der Lichtlehre im Geiste der Vibrationstheorie gegebenen Erklärung der ganz analogen Lichterscheinungen auch entbehrlich sein. Eine zweite, viel ältere Hypothese betrachtet als Ursache der Wärmeerscheinungen einen eigenthümlichen Stoff, den sogenannten Wärmestoff, der außerordentlich fein, ausdehnsam, in allen Körpern in größerer oder geringerer Menge vorhanden ist, und mit der Materie der Körper durch eine wechselseitige Anziehung zusammenhängt. Je größer diese Anziehung ist, desto mehr wird seine Ausdehnsamkeit geschwächt, desto kleiner ist also bei derselben Wärmemenge seine Wirkung nach außen, d. i. die Temperatur des Körpers, und desto größer die Wärmecapacität dieses letzteren, d. h. derselbe braucht, um eine bestimmte Temperatur zu zeigen, eine desto größere Wärmemenge. Der Uebergang von Wärme aus einem Körper höherer in einen ihm dargebotenen Körper niedrigerer Temperatur ist nach dieser Hypothese die Folge der größeren Ausdehnsamkeit des Wärmestoffes in dem ersteren, als in dem letzteren Körper. Die Volumsvergrößerung der Körper bei ihrer Erwärmung (bei Vermehrung ihrer Wärmemenge) kömmt von der Action, welche der nun eine größere Ausdehnsamkeit äußernde Wärmestoff auf die Körpertheilchen übt, mit denen er durch Anziehung zusammenhängt. Das Schmelzen und Verdampfen der Körper tritt nothwendig ein, wenn die Expansivkraft des Wärmestoffes zu Folge immer stärkerer Anhäufung desselben in dem betreffenden Körper ein kleineres oder größeres Uebergewicht über die Cohärenz dieses Körpers erlangt, u. s. f.

Durch die Annahme des Wärmestoffes werden in der That die meisten Wärmeerscheinungen, dem Allgemeinen nach, mit großer Leichtigkeit erklärt, und dies ist gewiß der Hauptgrund, warum diese Hypothese immer noch sehr viele Anhänger zählt, obgleich für sie nicht so, wie für die Vibrationshypothese die

große Analogie zwischen den Phänomen der strahlenden Wärme und des Lichtes spricht und dieselbe überdies mehrere und weit einfachere Erscheinungen unerklärt läßt, als die Vibrationshypothese. Wenn wir in den folgenden Absätzen von Wärmemenge, Wärmecapacität u. s. w. im Sinne der Wärmestoffhypothese sprechen, so wollen wir uns dadurch nicht etwa auch für Anhänger dieser Hypothese erklären, sondern gebrauchen diese Bezeichnungen nur, weil sie eine kürzere Darlegung der zu betrachtenden Gegenstände gestatten.

400. Messung von Wärmemengen (Calorimetrie). Es ist für sich klar, daß, um einer bestimmten Gewichtsmenge eines Körpers eine gewisse Temperatur zu ertheilen, eine bestimmte Wärmemenge erforderlich sei, daß gleiche, die nämliche Temperatur zeigende Gewichtsquantitäten eines und desselben Körpers auch gleiche Wärmemengen enthalten, mithin die Wärmemengen, welche verschiedene Massen des nämlichen Körpers und unter sonst gleichen Umständen zu demselben Grad erwärmen, diesen Massen proportional sind, so daß z. B. 1 Pfund Wasser immer die nämliche Wärmemenge braucht, um von 0^0 auf 1^0 R. gebracht zu werden, und daß, wenn man diese Wärmemenge = 1 setzt, die Wärmemengen, welche 2, 3, 4 . . . 10, 20 u. s. w. Pfunde Wasser von 0^0 auf 1^0 R. bringen, durch die Zahlen 2, 3, 4 . . . 10, 20 u. s. w. dargestellt werden.

Gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper, z. B. ein Pfund Quecksilber und ein Pfund Eisen, erfordern aber, um auf die nämliche Temperatur zu kommen, ungleiche Wärmemengen. Es folgt dies nothwendig aus gewissen Erscheinungen. Mischt man z. B. gleich große Gewichtsmengen Wassers von 0^0 und Quecksilbers von 136^0 zusammen, so erhält das Gemische eine Temperatur von 4^0; es bringt also die Wärmemenge, welche dem Quecksilber eine Temperatur von $136 - 4 = 132^0$ gibt, die gleiche Wassermasse nur auf 4^0; Wasser braucht demnach $132 : 4 = 33$mal mehr Wärme als Quecksilber, um dieselbe Temperaturerhöhung zu erfahren. Man bezeichnet dies damit, daß man sagt: das Wasser habe eine 33mal größere Capacität für die Wärme als das Quecksilber, oder die Wärme-Capacität des Quecksilbers sei $1/_{33}$, wenn jene des Wassers = 1 gesetzt wird, und nennt die (offenbar nur von der spezifischen Beschaffenheit des betreffenden Körpers abhängige) Wärmemenge, welche die Masseeinheit eines Körpers braucht, um in der Temperatur um 1^0 C. zu steigen, die spezifische Wärme dieses Körpers. Daß die Wärme-Capacität der spezifischen Wärme proportional sei, und daß man einer Substanz (A), welche im Vergleich mit einer andern (B) eine gleiche oder 2fache, 3fache u. s. w. spezifische Wärme besitzt, auch eine im Vergleich mit jener von (B) gleiche oder 2fache, 3fache u. s. w. Wärme-Capacität zuschreiben müsse, ist für sich klar. Um die spezifische Wärme und die Wärme-Capacität der Körper durch bloße unbenannte Zahlen ausdrücken zu können, vergleicht man bezüglich dieser Größen alle Körper mit dem reinen Wasser, so daß die spezifische Wärme und die Wärme-Capacität eines Körpers durch diejenige Zahl dargestellt wird, welche anzeigt, wie viel Mal mehr oder weniger Wärme zur Temperaturerhöhung der Masseeinheit um 1^0 C. bei diesem Körper erforderlich ist als bei reinem Wasser. . (181)

Die Wärme-Capacität oder die spezifische Wärme des Eisens ist 0·1138, des Quecksilbers 0·0333, des Glases 0·1770 heißt demnach: während 1 Pfund reinen Wassers zur Temperaturerhöhung um 1^0 C. die Wärmemenge 1 braucht, benöthigt je 1 Pfund Eisen, Quecksilber und Glas der Reihe nach die Wärmemengen 0·1138, 0·0333 und 0·1770, damit die Temperatur um 1^0 C. wachse. Der Erfahrung gemäß nimmt die Wärme-Capacität und die spezifische Wärme mit der Temperatur zu, so daß z. B. ein und derselbe Körper und unter sonst gleichen Umständen weniger Wärme nöthig hat, um von 30^0 auf 31^0 als um von 100^0 auf 101^0 C. gebracht zu werden. . . . . (182)

Bei Wasser ist, nach Regnault, diese Zunahme sehr schwach, so daß man sie in den meisten Fällen vernachlässigen kann.

401. Bestimmung der spezifischen Wärme der festen und der tropfbaren Körper. Unter den verschiedenen hierzu bisher angewendeten Methoden nimmt die sogenannte Mengungsmethode den ersten Rang ein. Nach derselben wird von dem Körper (A), dessen spezifische Wärme **S** zu ermitteln ist, eine genau gewogene Menge **M** auf eine gewisse Temperatur **T** erwärmt, hernach in Wasser gebracht, wovon die Gewichtsmenge m und die Temperatur t vorher bestimmt worden und **s** die spezifische Wärme ist, hierauf die gemeinschaftliche Temperatur **t** beider Körper nach ihrer Mengung gemessen und nun der Werth von $\frac{S}{s}$, d. i. die spezifische Wärme des Körpers **A** in dem vorn unter (181) festgestellten Sinne, je nachdem $T > t$ oder $T < t$ ist, aus der Gleichung $MS(T - \mathbf{t}) = ms(\mathbf{t} - t) \ldots (1)$ oder aus $MS(\mathbf{t} - T) = ms(t - \mathbf{t}) \ldots (2)$ berechnet. Da nämlich **S** und s die Wärmemengen bedeuten, welche die Masseeinheit des Körpers **A** und des Wassers in der Temperatur um 1° C. höher, also auch von 0° auf 1° C. bringen, so sind offenbar **MS** und ms die Wärmemengen, welche die Temperaturen der Massen **M** und m des Körpers **A** und des Wassers von 0° auf 1° erhöhen, ferner **MST** und **NSt** die Wärmemengen, welche die Masse **M** auf die Temperaturen **T** und **t** bringen, und eben so sind mst und m s **t** die Wärmemengen, welche die Wassermasse m von 0° auf t und **t** Grade erwärmen. Sinkt nun nach oben besagter Mengung die Temperatur **T** der Masse **M** des Körpers **A** auf **t** herab, so beträgt die Wärmemenge, wodurch die Temperatur dieser Masse über 0° erhöht wird, nicht mehr **MST**, wie vor der Mengung, sondern nur **MSt**; die Masse **M** hat mithin die Wärmemenge $MST - MS\mathbf{t} = MS(T - \mathbf{t})$ verloren. Andererseits hat offenbar die angewendete Wassermasse m, indem sie durch die Mengung in der Temperatur von t auf **t** stieg, die Wärmemenge $ms\mathbf{t} - mst = ms(\mathbf{t} - t)$ gewonnen. Nun kann aber die Wassermasse m gerade nur so viel gewinnen, als die Masse **M** des Körpers **A** verliert; daher ist $MS(T - \mathbf{t}) = ms(\mathbf{t} - t)$. Die Rechtfertigung der Gleichung (2) ergibt sich, wie man von selbst begreift, ganz auf ähnliche Weise.

Der feste oder tropfbare Körper, dessen spezifische Wärme auf dem eben beschriebenen Wege bestimmt werden soll, darf im Wasser nicht auflöslich sein und sich in Berührung mit demselben zu Folge eintretender Absorbtion oder chemischer Action weder erhitzen noch abkühlen. Für einen Körper (B), auf den das Wasser in der einen oder andern Art einwirkt, ist eine andere passende Flüssigkeit (F), die keine solche Einwirkung übt, zu wählen, und mit dieser Flüssigkeit und dem Körper **B** ganz so zu verfahren, wie es oben für den Körper **A** und Wasser beschrieben wurde. Der dann aus der betreffenden Gleichung berechnete Werth $\frac{S}{s}$ ist offenbar die spezifische Wärme des Körpers **B** in Bezug auf die Flüssigkeit **F** (d. h. wenn man die Wärmemenge, welche die Temperatur der Masseeinheit von **F** um 1° C. erhöht, = 1 setzt) und man braucht ihn nur mit der bereits bekannten oder nachträglich bestimmten spezifischen Wärme der Flüssigkeit **F** in Bezug auf Wasser zu multiplizieren, um die spezifische Wärme des Körpers **B** in der oben unter (181) angegebenen Bedeutung zu erhalten. Die Richtigkeit dessen läßt sich leicht ganz auf ähnlichem Wege einsehen, wie, warum die wahre Dichte eines festen Körpers, den das Wasser angreift, dadurch gefunden wird, daß man seine Dichte in Bezug auf eine andere, ihn nicht angreifende Flüssigkeit ermittelt und den so gefundenen Werth mit der wahren, auf Wasser bezogenen Dichte dieser Flüssigkeit multiplizirt. (Man sehe S. 197 und S. 201.)

Soll die Mengungsmethode entsprechend genaue Resultate geben, so dürfen die Temperaturen der Körper, die zusammengebracht (gemengt) werden, vor dem Zusammenbringen nicht zu sehr von einander differiren, weil die der Methode zu Grunde liegende Voraussetzung, daß die Wärme-Capacität der Körper sich mit der Temperatur nicht ändere, nur für den Fall als richtig angenommen werden kann, daß die Temperatur-Aenderung nicht gar groß ist [siehe vorn bei (182)]; man muß daher, um es bei kleinen Temperatur-Differenzen der zusammengebrachten Körper doch mit beträchtlichen Wärmequantitäten zu thun zu haben, mit großen Massen dieser Körper experimentiren. Auch muß man die Körper in Stückeform anwenden können, weil, wenn sie Pulverform haben, eigene, die Genauigkeit des Resultats schwächende Fehlerquellen vorhanden sind. Ferner muß dafür gesorgt werden, daß der Wärmeverlust, der während des Versuches durch die umgebende Luft bewirkt wird, nur sehr gering sein kann, ja möglichst ausgeglichen werde. Zu diesem Behufe wähle man die Temperaturen und Massen der zusammenzubringenden Körper so, daß das Wasser oder die seine Stelle vertretende Flüssigkeit durch den hineingebrachten andern Körper immer nur um wenige Grade über die Temperatur der umgebenden Luft erwärmt wird, und gebe der Flüssigkeit (dem Wasser oder seinem Stellvertreter) vor dem Versuche eine Temperatur, die um eben so viele Grade unter jener der umgebenden Luft steht, als nach dem Versuche die besagte Flüssigkeit wärmer ist als die Luft. Endlich muß noch auf die Temperaturerhöhung des Gefäßes Rücksicht genommen werden, worin die Mengung geschieht. Regnault hat in neuester Zeit die spezifische Wärme einer großen Zahl von Körpern nach der Mengungsmethode bestimmt. Die von ihm erhaltenen Resultate findet man in der **XXVII.** Tabelle am Schlusse des Buches, welche noch überdies die Ergebnisse anderer Versuche enthält.

Eine zweite Methode, die Wärme-Capacität zu bestimmen, beruht auf der Voraussetzung, daß ein erwärmter Körper unter übrigens ganz gleichen Umständen desto schneller um eine gewisse Anzahl Grade erkalte, eine je kleinere Capacität er besitzt. Diese von Mayer angegebene Methode wendeten vorzüglich Dulong und Petit an. Sie brachten jede der zu untersuchenden Substanzen, um diesen eine gleiche Oberfläche zu geben, in ein kleines cylindrisches Gefäß von sehr dünnem, äußerlich wohlpolirtem Silberblech und in die Axe dieses Gefäßes den Behälter eines sehr empfindlichen Thermometers. War die betreffende Substanz fest, so wurde sie in fein gepulvertem Zustande in das Silbergefäß gefüllt und darin stark zusammengestampft. Das Gefäß wurde dann mit einem kleinen Deckel von polirtem Silber bedeckt, der durchbohrt war, um den Styl des Thermometers hindurch zu lassen, nun auf 30 bis 40° erhitzt, und dann in ein großes Metallgefäß gebracht, dessen innere Oberfläche mit Kienruß überzogen war und das durch Eis beständig auf 0° erhalten wurde, nachdem es mittelst der Luftpumpe luftleer gemacht war. Sie maßen dann mittelst eines Chronometers die Zeiten, welche die verschiedenen Körper zur Abkühlung um eine bestimmte Anzahl Grade brauchten, und setzten die Wärme-Capacitäten dieser Körper den für sie beobachteten Erkaltungszeiten dividirt durch die Masse des betreffenden Körpers proportional . . . (1). Dieses Verfahren gibt jedoch besonders für starre Körper keine hinreichend genauen Resultate, weil die Körper sicherlich nicht in allen ihren Theilen gleichmäßig erkalten, dasselbe überdies mehreren Einflüssen (Ableitung von Wärme durch den Thermometerstiel, Verschiedenheit in der Leichtigkeit des Ueberganges der Wärme aus den kleinsten Theilchen der verschiedenen Substanzen, Ungleichheit in der Zeit der Erkaltung des kleinen Gefäßes während der verschiedenen Versuche u. s. w.) ausgesetzt ist, deren Werth zu ermitteln bei dem jetzigen Zu-

stand unserer Kenntnisse schwer ist. Wir gehen deswegen auch nicht in die Rechtfertigung der unter (1) angeführten Proportionalität ein.

Nach einer dritten Methode endlich geschieht die Bestimmung der Wärme-Capacität nach der Gewichtsmenge Eises, welche der betreffende, früher bis zu einem gewissen Grad erhitzte Körper, indem er bis zur Temperatur des Eises erkaltet, zu schmelzen vermag, und man braucht dazu einen eigenen Apparat, den Laplace und Lavoisier angegeben und Calorimeter genannt haben. Da diese Methode nur schwer auf Körper von beliebiger Form anwendbar, ihre Anwendung also beschränkt ist, dieselbe überdies mit einiger Sicherheit sich nur ausführen läßt, wenn die äußere Temperatur nur wenig von 0^0 abweicht; so dürfte die weitere Auseinandersetzung des Verfahrens dabei unterlassen werden.

Unter allen festen und flüssigen Körpern besitzt das Wasser bei weitem die größte Wärme-Capacität. Deswegen sind die Meere und die andern Gewässer, welche einen so großen Theil der Erde bedecken, ein so reichhaltiges Magazin von Wärme, und fahren z. B. während der Nacht immer noch fort, Wärme an die Atmosphäre abzugeben, wenn der Erdboden, dessen Wärme-Capacität nur ungefähr 0·25 von jener des Wassers beträgt, schon lange unter die Temperatur der Atmosphäre erkaltet ist. Hieraus erklärt sich die am Schlusse von **143** besprochene Luftströmung, welche zur Nachtzeit vom Lande nach dem Meere hin stattfindet, und der mildernde Einfluß, den bekanntlich die Meere auf das Klima der anliegenden Länder üben. Es erklärt sich ferner aus der großen Wärme-Capacität des Wassers die schnelle und gute Wirkung bei der Wasserheizung (**389**); warum unter allen Flüssigkeiten gerade Wasser zu einer derartigen Anwendung am besten sich eignet; warum eine kleine Quantität mäßig kalten Wassers eine große Menge einer heißen andern tropfbaren Flüssigkeit bedeutend abzukühlen vermag u. s. w. In der sehr geringen Wärme-Capacität des Quecksilbers (welche macht, daß letzteres nur wenig Wärme aufzunehmen oder abzugeben hat, um in der Temperatur beträchtlich zu steigen oder zu sinken) liegt der Grund, warum diese Flüssigkeit für die Wärme so empfindlich und mithin zu Thermometern so geeignet ist.

Schließlich soll über die Mengungsmethode noch bemerkt werden, daß man nach derselben aus der Temperaturerhöhung, welche ein erhitzter Körper, dessen spezifische Wärme bekannt ist, beim Abkühlen im Wasser in diesem bewirkt, die Temperatur berechnen kann, welche er selbst vor dem Einbringen in das Wasser hatte. Es folgt nämlich aus der Gleichung (1) auf S. 921 $\frac{S}{s} = \frac{m(\mathbf{t} - t)}{M(T - \mathbf{t})}$. Bedeutet nun M das Gewicht des erhitzten Körpers, S seine als bekannt vorausgesetzte spezifische Wärme und T seine noch unbekannte und zu bestimmende Temperatur, ferner m die zu seiner Abkühlung angewendete Gewichtsmenge Wassers von der Temperatur t und der spezifischen Wärme $s = 1$, und endlich $\mathbf{t}$ die Temperatur des Wassers nach Abkühlung des erhitzten Körpers darin; so ist $T = \frac{m(\mathbf{t} - t)}{MS} + \mathbf{t}$. Gesetzt man hätte eine Platinkugel von 160 Grammen (M) Gewicht in einem Ofenfeuer erhitzt, sie dann in 800 Grammen (m) Wasser von 12^0 (t) abgekühlt, und dadurch wäre die Temperatur dieses letzteren auf 18^0 ($\mathbf{t}$), also um 6^0 ($\mathbf{t} - t$) gestiegen; so hätte die Platinkugel die Temperatur $T = \frac{800 \times 6}{160 \times 0{\cdot}03243} + 18 = 943{\cdot}07$. Die Platinkugel wäre demnach im Ofenfeuer auf eine Temperatur von $943^0{\cdot}07$ erhitzt worden. Dieses Ergebniß ist jedoch nur eine erste Annäherung an die Wahrheit, da (nach S. 920) die spezifische Wärme der Körper, mithin auch des Platins, mit der Temperatur sich ändert, und zwar bei höheren Temperaturen wächst *). Nimmt man für

*) Die folgende Tabelle enthält die mittlere spezifische Wärme einiger Körper und insbesondere des Platins zwischen bestimmten Temperaturgrenzen.

diese nur annähernd gefundene Temperatur des Platins aus der Tabelle in der Anmerkung die spezifische Wärme dieses Metalls und setzt sie = 0·0373 statt S in die obige Formel; so ergibt sich für die Platinkugel die Temperatur $T = \frac{800 \times 6}{160 \times 0·0373} + 18 = 822·3$. Daß man daher auf diesem Wege mittelst eines Platinkörpers auch pyrometrische Bestimmungen vornehmen könne, und wie dies geschehe, leuchtet nun wohl von selbst ein. (Man sehe S. 843—849.)

402. Bestimmung der spezifischen Wärme der Gase. Es ist dies eine Aufgabe, die bis jetzt noch nicht in ganz genügender Weise gelöst und deren Lösung besonders deswegen schwierig ist, weil sie erfordert, daß mit sehr großen Gasmengen gearbeitet werde. Folgendes von Delaroche und Berard angegebene Verfahren wird allgemein immer noch für das entsprechendste gehalten. Das betreffende, vorher wohl getrocknete Gas wird in einem von siedendem Wasser oder siedend heißen Wasserdämpfen umgebenen Gefäße auf 100° C. erhitzt und hierauf in einem (mittelst eines Gasometers bewirkten) langsamen, gleichförmigen Strome durch ein schlangenförmig gewundenes Rohr geleitet, welches in einem geschlossenen Cylinder von kaltem Wasser umgeben ist. Dabei gibt das Gas, (welches am zweiten Ende des Schlangenrohres wieder frei entweichen kann,) Wärme an das kalte Wasser ab und erhöht dessen Temperatur bis zu dem Grade, bei welchem die Wärmemenge, die demselben zugeführt wird, gerade so groß ist, wie jene, welche in der nämlichen Zeit durch den besagten Cylinder an die umgebende Luft abgegeben wird, von wo an dann die Temperatur des Wassers unveränderlich (stationär) bleibt. Je mehr Wärme nun das Gas in einer gewissen Zeit dem Wasser zuführt, desto höher wird diese stationäre Temperatur sein, und es werden, da von verschiedenen Gasen in der nämlichen Zeit gleiche Volume durch das Schlangenrohr strömen (indem diese Strömung vorausgesetzter Maßen gleichförmig vor sich geht), die Ueberschüsse der durch diese Gase erzeugten stationären Temperatur über die (als gleich geblieben vorausgesetzte) Temperatur der umgebenden Luft den Wärme-Capacitäten proportional sein, welche die betreffenden Gase bei gleichen Volumen besitzen. Dividirt man jeden der so erhaltenen Werthe durch die Dichte des zugehörigen Gases, so erhält man die Verhältnißzahlen der Capacitäten für gleiche Gewichtsmengen der Gase, d. i. die Verhältnißzahlen der spezifischen Wärmemengen derselben. Man setzt gewöhnlich die spezifische Wärme der atmosphärischen Luft = 1 und drückt die spezifische Wärme eines andern Gases durch

---

Mittlere spezifische Wärme.

	zwischen 0° und 100°	zwischen 0° und 300°
Antimon	0·0507	0·0549
Eisen	0·1098	0·1218
Glas	0·1770	0·1900
Kupfer	0·0949	0·1013
Quecksilber	0·0330	0·0350
Silber	0·0557	0·0611
Zink	0·0927	0·1015

Die mittlere spezifische Wärme des Platins ist

zwischen 0° und 100°	. . . . . .	0·03350
„ 0° „ 300°	. . . . . .	0·03434
„ 0° „ 500°	. . . . . .	0·03518
„ 0° „ 700°	. . . . . .	0·03602
„ 0° „ 1000°	. . . . . .	0·03728
„ 0° „ 1200°	. . . . . .	0·03818

die Zahl aus, welche anzeigt, wievielmal größer oder kleiner die diesem Gase entsprechende Verhältnißzahl ist, als jene der atmosphärischen Luft unter sonst gleichen Umständen. Um die in diesem Sinne erhaltenen spezifischen Wärmemengen der Gase mit jenen fester und tropfbarer Körper, welchen die spezifische Wärme des Wassers als Einheit zu Grunde liegt, vergleichen zu können, muß man vorher die Verhältnißzahlen der spezifischen Wärmemengen der atmosphärischen Luft und des Wassers bestimmen, was dadurch geschehen kann, daß man eine bestimmte Gewichtsmenge atmosphärischer, zu bekannter Temperatur erhitzter Luft durch ein gegebenes Gewichtsquantum Wasser streichen läßt, und dann aus dem Temperaturverluste der Luft und aus der Temperaturzunahme des Wassers nach den Principien der Mengungsmethode das Verhältniß der spezifischen Wärmemengen beider findet. Die 3. Abtheilung der Tabelle **XXVII.** am Schlusse des Buches enthält die Resultate solcher mit den wichtigsten Gasen vorgenommener Versuche. Bei Regnault's neuesten Untersuchungen (Compt. rend. 1853, Nro. 16, S. 676) ergab sich die spezifische Wärme der Luft = 0·2377, jene des Wassers = 1 gesetzt; ferner, daß die spezifische Wärme der Luft und anderer Gase höchst wahrscheinlich ganz unabhängig von der Dichte ist. Die spezifischen Wärmemengen der von Regnault untersuchten Gase sind in der Tabelle **XXVII** am Schlusse des Buches enthalten.

Die spezifische Wärme elastischer Flüssigkeiten kann betrachtet werden entweder 1. unter constantem Drucke, wenn sich nämlich die Flüssigkeit frei ausdehnen kann und immer eine constante Spannung behält, oder 2. bei constantem Volum, indem man sie nämlich zwingt, stets dasselbe Volum zu behalten. Die erste Definition allein stimmt mit derjenigen überein, welche man für die spezifische Wärme der festen und tropfbaren Körper angenommen hat; es ist auch die einzige, welche bisher eine direkte experimentelle Bestimmung gestattet.

403. Die Bestimmung der Wärme, welche beim Schmelzen der Körper gebunden wird (der Flüssigkeitswärme), geschieht am besten nach der (in **401** abgehandelten) Mengungsmethode, indem man nämlich den am Schmelzpunkte befindlichen festen Körper in eine wärmere Flüssigkeit bringt, darin schmelzen läßt und aus der nachher stattfindenden gemeinschaftlichen Temperatur beider Körper und den Temperaturen derselben bei ihrem Zusammenbringen die zum Schmelzen der Masseeinheit des betreffenden Körpers erforderlich gewesene Wärmemenge berechnet. Wie dies geschieht, soll hier beispielsweise für Eis gezeigt werden. Bringt man die Gewichtsmenge m Eises von 0° C. (seinem Schmelzpunkte) in eine Wassermasse vom Gewichte **M** und von der Temperatur **T**, und ist nach erfolgtem Schmelzen von m die gemeinschaftliche Temperatur **t**; so ist m**t** die Wärmemenge, welche die aus dem Eise entstandene Wassermenge, (die natürlich ebenfalls das Gewicht m hat), aufgenommen und $M(T-t)$ die Wärmemenge, welche die Wassermasse **M** verloren hat. Bedeutet endlich x die Wärmemenge, welche die Gewichtseinheit Eis zum Schmelzen braucht, mithin mx die zum Schmelzen der ganzen Eismasse m erforderliche Wärmequantität; so hat man, da die Wärme, welche **M** verloren hat, das Schmelzen der Eismasse m und die Erwärmung des daraus gebildeten Wassers bewirkte, offenbar $M(T-t) = mt + mx$ und mithin $x = \frac{M(T-t) - mt}{m}$. Bei einem wirklichen Versuch wurde x = 75° C. gefunden, d. h. 1 Pfund Eis von 0° braucht zum Schmelzen eben so viel Wärme als 1 Pfund Wasser nöthig hat, um von 0° auf 75° C. erwärmt zu werden. Nach Desains und de la Provostaye ist x = 79°·25 C. und Regnault fand die Zahl 79·06.

Die Wärme, die beim Festwerden tropfbarer Körper frei wird (die latente Schmelzwärme) ändert sich, nach Person, bei einer und derselben Substanz mit der Temperatur, bei welcher die Aenderung des Aggregatzustandes geschieht, so daß z. B. Wasser, wenn es bei — 10° C. gesteht, nur 72·2 Wärmeeinheiten entwickelt, während es deren 79 ausgibt, sobald es bei 0° gefriert.

404. Bestimmung der Verdampfungswärme. Um die Wärmequantität zu bestimmen, welche bei Verwandlung einer gewissen Gewichtsmenge eines tropfbaren Körpers in Dampf gebunden (latent), mithin bei der Condensation der nämlichen Dampfmenge wieder frei wird, bedient man sich gewöhnlich eines Verfahrens, welches nur eine Modifikation der Mengungsmethode ist. Man bringt nämlich die betreffende tropfbare Flüssigkeit in einer Retorte oder in einem andern passenden Gefäße zum Sieden, und leitet die Dämpfe durch ein metallenes Schlangenrohr, worin die verdampfende Flüssigkeit verdichtet wird und welches mit einer gewissen Gewichtsmenge M kalten Wassers umgeben ist. Nachdem dieses Wasser (das Kühlwasser) durch die bei der Dampfverdichtung freiwerdende Wärme eine bedeutendere Temperaturerhöhung angenommen und eine Erhöhung von der ursprünglichen Temperatur T^0 auf t^0 C. erfahren hat, bestimmt man das Gewicht m der Dämpfe, welche diese Erhöhung bewirkt hat, und welches offenbar dem Gewichtsverluste gleich ist, den die Flüssigkeit im Kochgefäße erlitten hat, und kann nun mit Hilfe dieser Größen, dann der bekannten spezifischen Wärme s der untersuchten Flüssigkeit, der Temperatur $\mathfrak{T}$ der Dämpfe vor dem Versuche und der Temperatur $\mathfrak{t}$ des (durch Condensation der Dämpfe gebildeten) Destillates unter gehöriger Rücksichtnahme auf das Gewicht μ und die spezifische Wärme σ des besagten Rohres und des Kühlwasser-Behältnisses die Verdampfungswärme x berechnen. Es ist nämlich (unter der Voraussetzung, die Erwärmung des Kühlwassers sei bloß durch die bei der Condensation der Dämpfe entbundene Wärme bewirkt worden, was deswegen angenommen wird, weil die Dämpfe sich in einem Zustande befinden, wo sie bei der geringsten Abkühlung in die tropfbare Form übergehen) $ms(\mathfrak{T}-\mathfrak{t})+mx$ die Wärmemenge, welche die Dämpfe abgegeben haben, $M(t-T)$ die Wärmemenge, die das Kühlwasser und $\mu\sigma(t-T)$ jene, die das Schlangenrohr und das Kühlwasser-Behältniß erhalten haben (denn offenbar erfährt dieses Behältniß, wenn es, wie vorausgesetzt werden soll, auch aus einem die Wärme gut leitenden Materiale besteht, gleich dem Schlangenrohre dieselbe Temperaturerhöhung, wie das Kühlwasser); und man hat daher $ms(\mathfrak{T}-\mathfrak{t})+mx=M(t-T)+\mu\sigma(t-T)$ und hieraus die in der Masse 1 des Dampfes von der Temperatur $\mathfrak{T}$ latente Wärme

$x=\dfrac{(M+\mu\sigma)(t-T)-ms(\mathfrak{T}-\mathfrak{t})}{m}$. Diese Gleichung gibt jedoch für diese latente Wärme nur der Wahrheit nahe kommende Werthe, weil die ihr zu Grunde gelegten Voraussetzungen nicht ganz richtig sind, und bei ihrer Ableitung manche Einflüsse, z. B. die Wärmeausstrahlung von Seite des Kühlapparates und der Wasseroberfläche in die Luft, die ungleichmäßige Vertheilung der Temperatur im Kühlwasser u. s. w. ganz unberücksichtigt blieben. Brix in Berlin hat das eben beschriebene Verfahren, die latente Wärme der Dämpfe zu bestimmen, vervollkommt, alle Correctionen angebracht, welche erforderlich sind, damit dasselbe ein genaues Resultat gibt (man sehe Poggendorff's Annalen, B. 55. S. 341) und so die latente Wärme des Dampfes von der Temperatur des Siedens der betreffenden Flüssigkeit, für Wasser 432, für Alkohol 168·6, für Schwefeläther 71·97, für Terpentinöl 62·25 und für Citronöl 63·85 gefunden . . . (†), d. h. um eine gewisse Menge Wasser, Alkohol, Schwefeläther u. s. w. von der Temperatur des Siedens in Dampf von derselben Temperatur zu verwandeln, sind Wärmequantitäten nöthig, welche die gleiche Menge Wasser von 0^0 beziehungsweise auf 432^0, $168^0{\cdot}6$, $71^0{\cdot}97$ R. u. s. w. oder respektive die 432, 168·6, 71·97 u. s. w.fache Wassermenge von 0^0 auf 1^0 R. bringen könnten u. s. w. Während also die in einer Wassermasse von 80^0 R. enthaltene Wärme 80 ist, beträgt die in einer gleichen Dampfmasse von 80^0 R. enthaltene $80+432$ d. i. 512, oder eine Wasserdampfmasse von 80^0 R. enthält $512:80=6{\cdot}4$mal

mehr Wärme, als eine gleiche Masse Wasser von 80° R. Nach diesen Ergebnissen dringt sich nun von selbst die Frage auf, welche Wärmemengen die Dämpfe, die bei andern Temperaturen als jener des Siedens der betreffenden Flüssigkeit entstehen, zu ihrer Bildung brauchen. Diese Frage hat, wir wir schon aus **383** her wissen, Pambour in letzterer Zeit durch außer Zweifelstellung des merkwürdigen Gesetzes beantwortet, daß in einer bestimmten Gewichtsmenge mit seiner Flüssigkeit in Berührung stehenden Dampfes (oder Dunstes) die Summe der freien und der latenten Wärme unabhängig von der Temperatur, die er hat, und dem Drucke, unter welchem er entsteht (für die Dämpfe einer und derselben Flüssigkeit), die nämliche (eine constante Größe) sei, die besagte Gewichtsmenge also desto mehr latente Wärme enthalte, je geringer ihre Temperatur ist . . . (††). Für Wasserdampf ist diese constante Größe daher 432 + 80 oder 512 (da diese Zahl die Summe der freien und der latenten Wärme des Wasserdampfes von 80° R. und diese Summe für Wasserdampf von allen Temperaturen die nämliche ist), und die latente Wärme des Wasserdampfes kann, wenn seine Temperatur t° R. beträgt, immer durch 512 — t ausgedrückt werden.

Nach Regnault's Untersuchungen (im J. 1849) ist nicht, wie das Watt'sche, von Pambour bestätigte Gesetz angibt, die Gesammtwärmemenge des gesättigten Wasserdampfes bei jeder Temperatur und unter jedem Druck immer gleich, sondern es wächst diese Wärmemenge regelmäßig mit dem Drucke, und Regnault hat für diese Gesammtwärmemengen bei gesättigtem Dampf bei den Temperaturen t und unter den in Atmosphären ausgedrückten Spannungen s die in der hier folgenden Tabelle angegebenen Werthe erhalten. Die in der Colonne w enthaltenen Zahlen zeigen die Anzahl Gewichtseinheiten, z. B. Kilogramme Wassers an, welche man mit der Gesammtwärme des Dampfes von 0° bis 1° C. erwärmen könnte.

t	s	w	t	s	w	t	s	w	t	s	w
0°	0·006	606·5	60°	0·196	624·8	120°	1·962	643·1	180°	9·929	661·4
10	0·012	609·5	70	0 306	627·8	130	2·671	646·1	190	12·425	664·4
20	0·023	612·6	80	0·466	630·9	140	3·576	649 2	200	15·380	667·5
30	0·042	615·7	90	0·691	633·9	150	4·712	652·2	210	18·848	670·5
40	0·072	618·7	100	1·000	637·0	160	6·120	655·3	220	22·882	673·6
50	0·121	621·7	110	1·415	640·0	170	7·844	658 3	230	27·535	676·6

Aus dem Gesetze (††) folgt, daß die Dämpfe von höherer Temperatur und Spannkraft bei gleich großer mechanischer Wirkung zur Bildung weniger Wärme benöthigen als Dämpfe von niederer Temperatur oder geringerer Dichte, und daß daher in ökonomischer Hinsicht (bezüglich des Brennstoffbedarfes) Dampfmaschinen mit höherem Drucke im Allgemeinen vortheilhafter sind.

Den oben unter (†) angegebenen Zahlen gemäß enthält bei der Siedhitze der Wasserdampf nahe 2·5mal so viel latente Wärme, als eine mit ihm gleiche Gewichtsmenge Alkoholdampf. Da aber (nach Tabelle VII. C. am Schlusse des Buches) das spezifische Gewicht des Alkoholdampfes wieder nahe 2·5mal so groß ist als jenes des Wasserdampfes, so enthalten gleiche Volume von Wasserdampf und Alkoholdampf auch gleiche Mengen latenter Wärme. Werden daher gleiche Gewichtsmengen Wasser und Alkohol unter der Siedhitze und unter gleichem Drucke in Dampf verwandelt, so ist dazu beim Alkohol nur $\frac{1}{2·5}$ der Wärme nöthig, welche beim Wasser latent wird, aber es ist auch das Volum des sich bildenden Alkoholdampfes $\frac{1}{2·5}$-mal kleiner als das des entstandenen Wasserdampfes. Es scheint demnach die latente Wärme der bei der Siedhitze aus verschiedenen Flüssigkeiten gebildeten Dämpfe den Volumen dieser letzteren proportional zu sein, mithin aus allen Flüssigkeiten mit der nämlichen Wärmemenge unter demselben Drucke auch ein gleiches Dampfvolum erzeugt zu werden. Es kann daher keinen Vortheil gewähren, bei Dampfmaschinen anstatt Wasser eine andere den Dampf liefernde Flüssigkeit anzuwenden.

405. Quellen der Wärme. Die meiste Wärme auf unserer Erde kömmt von der Sonne; es besitzt aber auch die Erde selbst ihre eigene Wärme, und es sind ferner Druck oder Stoß, Reibung, Elektrizität (über diese Wärme-

quelle findet man das Betreffende in der Elektricitätslehre) und vorzüglich chemische Prozesse ergiebige Wärmequellen.

406. Die Sonne als Wärmequelle. Bekanntlich nöthigen die Erscheinungen zur Annahme, daß im Sonnenlichte außer den leuchtenden Strahlen auch mit diesen verbundene Wärmestrahlen vorhanden sind, und von diesen letztern allein kommt die wärmende Kraft der Sonne. Der Erfahrung gemäß erwärmen die Sonnenstrahlen einen Körper unter sonst gleichen Umständen desto mehr, 1) je dichter und 2) je weniger schief sie auf denselben auffallen; es hängt diese Erwärmung aber auch 3) von der Dauer ihrer Einwirkung auf den Körper ab und nimmt 4) mit dem Wärme-Absorbtionsvermögen des letzteren zu.

Aus 1) erklärt sich die schon früher erwähnte große Hitze, welche im Brennpunkte eines Hohlspiegels und einer Sammellinse stattfindet, wenn sie von der Sonne beschienen werden. Der Umstand, daß wegen der Neigung der Ekliptik gegen den Aequator die Schiefe, unter welcher die Sonnenstrahlen auf der Erde in verschiedenen geographischen Breiten eintreffen, nicht nur mit dieser Breite wächst, sondern auch an einem und demselben Orte während eines Jahres innerhalb gewisser Grenzen zu- und abnimmt, ist die Hauptursache, warum die Einwirkung der Sonnenwärme auf die Erde gegen die beiden Pole der letztern hin abnimmt; in dieser verschiedenen Schiefe der Sonnenstrahlen und in der ebenfalls durch die besagte Neigung bedingten ungleichen Dauer der Einwirkung dieser Strahlen in verschiedenen Breiten liegt auch der Grund der verschiedenen Wärmeverhältnisse in der heißen, in den 2 gemäßigten und in den 2 kalten Erdzonen und des Wechsels der Jahreszeiten (des Frühlings, Sommers, Herbstes und Winters in den gemäßigten Zonen). Das fortwährende Abnehmen der Schiefe der Strahlen vom Aufgange der Sonne bis zu ihrem höchsten Stande über dem Horizonte (zu Mittag), so wie der Einfluß ihrer Wirkungsdauer ist Ursache, warum die Wärme von Morgen gegen den Mittag hin zunimmt. Die sehr bedeutende Höhe, welche in großen geographischen Breiten (nahe der Grenze zwischen der gemäßigten und kalten Zone), ungeachtet die Sonnenstrahlen hier sehr schief auffallen, die Temperatur in dem kurzen Sommer daselbst erreicht, läßt sich nur aus der continuirlichen Einwirkung dieser Strahlen während der langen Tage erklären, die in diesen Gegenden zur Sommerszeit stattfinden. Endlich sieht man nach dem oben unter 4) Gesagten außer einigen, schon auf S. 916 in der Anmerkung besprochenen Erscheinungen auch noch ein: warum in einem Differentialthermometer, an welchem die eine Kugel mit Kienruß geschwärzt ist, die Flüssigkeit sich sogleich von dieser Kugel zu andern hin bewegt, wenn das ganze Instrument dem Sonnenlichte ausgesetzt wird; warum, wenn man verschiedenfarbige Tuchlappen im Sonnenscheine auf Schnee legt, dieser unter dem dunkelsten (die meisten Wärmestrahlen absorbirenden) Lappen am ersten und stärksten wegschmilzt; warum im Sommer schwarze Kleider so warm und so viel wärmer sind, als Kleider von lichter Farbe; warum die unteren, dichteren Luftschichten beim Durchgange der Sonnenstrahlen mehr erwärmt werden, als die höheren weniger dichten u. s. w.

407. Die Erde als Wärmequelle. Für das Vorhandensein einer eigenen Wärme im Innern der Erde spricht am nachdrücklichsten die durch die Erfahrung festgestellte Thatsache, daß in der Erde die Temperatur mit der Tiefe nach einem gewissen Gesetze und zwar immer um 1^0 R. für je 80 Fuß Tiefe (nach Reich für je 114 Fuß, nach Erman und Magnus für je 101 und 108 Fuß Tiefe) zunimmt. Diesem Gesetze gemäß ist in einer Tiefe von $^1/_2$ Meilen die Temperatur schon 80^0 R. und über eine Tiefe von 3 und mehreren Meilen hinaus muß die Erde sich im glühenden oder geschmolzenen Zustande befinden. Mit dem Allen in Uebereinstimmung stehen außer vielen anderen Erscheinungen auch: die stets constante Temperatur gewöhnlicher, aus nicht zu geringer Tiefe kommender Quellen während aller Jahreszeiten; das Schmelzen des Eises unter der Gletscherdecke, dort wo es mit dem Erdboden in Berührung steht; die sehr hohen Temperaturen vieler Mineralquellen und des Wassers mancher artesischer Brunnen (bei dem derartigen Brunnen zu Grenelle bei Paris ist die Temperatur $26^0{\cdot}43$ C., daher eine Temperaturzunahme von 1^0 C. auf 31·9 Meter); die Vulkane, deren Ausbrüche und ganze Thätigkeit ihren Grund sicherlich in der inneren Erdwärme und der Expansivkraft durch sie

gebildeter Wasserdämpfe und Gase hat u. s. w. Viele Erscheinungen berechtigen zur Annahme, daß die Erde in ihrer vorgeschichtlichen Zeit an der Oberfläche wärmer gewesen sei.

408. Wärmeerzeugung durch Druck oder Stoß. Den Beweis dafür liefern die Knallsalze und die Percussionspulver, wovon die ersteren nur den geringsten, die letzteren aber einen kräftigen Stoß oder Schlag zur Entzündung erfordern; das Heißwerden des Eisens und anderer Metalle unter rasch folgenden Hammerschlägen; das Feuerschlagen mit Stahl und Stein (wobei mittelst des Steines vom Stahle abgeschlagene oder abgerissene Stückchen durch den raschen Zusammenstoß zwischen Stein und Stahl bis zum Glühen erhitzt werden, wie man sich leicht überzeugen kann, indem man das Feuerschlagen über einem Bogen weißen Papiers vornimmt und die darauf gefallenen Funken (zum Glühen erhitzten Stahltheilchen) nachher mit einem Mikroskope betrachtet, wo sie als an der Oberfläche oxydirte Kügelchen, die nur durch Schmelzung des Stahles gebildet worden sein können, erscheinen).

Es erklärt sich ferner hieraus: die Erhitzung, die jedes Gas erfährt, wenn es stark und rasch zusammengedrückt wird, worauf die Wirkung des pneumatischen oder Luftfeuerzeuges beruht (wird nämlich die atmosphärische Luft in einem einerseits geschlossenen Cylinder mittelst eines in denselben luftdicht passenden und schnell gegen das geschlossene Ende gestoßenen Kolbens mindestens auf $1/_5$ ihres ursprünglichen Volums zusammengedrückt, so geht die besagte Erhitzung so weit, daß ein an der inneren Kolbenfläche an einem Häkchen befestigtes Stückchen Feuerschwamm sich entzündet, und wenn der Cylinder von Glas ist, ein Blitzen wahrgenommen wird).

Die Ursache der Wärmeerregung durch Druck oder Stoß ist die hierdurch bewirkte Verdichtung, welche, wie die Bestimmung der spezifischen Wärme (nach **401** u. s. w.) lehrt, immer eine Abnahme der Wärme-Capacität der Körper, mithin ein Freiwerden eines Theils der in ihnen enthaltenen Wärme zur Folge hat. Die Hauptursache der Selbstentzündung der Holzkohlen, die an freier Luft, besonders, wenn sie feucht ist, häufig stattfindet, und des Erglühens des Platinschwammes (fein zertheilten Platins) in Berührung mit Sauerstoff und Wasserstoff (am Platinfeuerzeuge) ist gewiß vorzüglich in der Verdichtung zu suchen, welche die erwähnten Gase in diesen porösen Körpern erfahren (**22**).

Wie durch Verdichtung Wärme, so muß durch Verdünnung der Körper, indem sie der Erfahrung gemäß eine Abnahme der Wärme-Capacität dieser letzteren zur Folge hat, Kälte erzeugt werden, da die Körper dann mehr Wärme aufnehmen können, und dieses Mehr aus der Umgebung absorbiren. Es gilt das schon von Dulong aufgestellte Gesetz, daß gleiche Volume von allen Gasen, genommen bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke, bei Compression oder Dilatation um einen gleichen Bruchtheil ihrer Größe, eine gleiche absolute Wärmemenge entwickeln oder verschlucken.

Hieraus erklärt sich: warum an den Lippen eine Erkältung empfunden wird, wenn man an dieselben ein dünnes Streifchen Kautschuk anlegt und dann durch schnelles und starkes Auseinanderziehen desselben dessen Dichte bedeutend vermindert. Läßt man stark verdichtete atmosphärische Luft aus einem Gefäße durch eine enge Oeffnung ausströmen, so bewirkt die Verdünnung, welche in diesem Strome entsteht, indem er sich in der äußeren Luft ausdehnt und mit dieser ins Gleichgewicht zu treten sucht, eine solche Erkaltung, daß eine kleine in den Strom gebrachte Menge Wassers mitten im Sommer gefriert.

Hierher gehört auch Gorrie's Verfahren, Eis zu erzeugen. Er comprimirt nämlich mittelst einer sehr kräftigen Druckpumpe Luft, und bringt diese dann, indem sie sich wieder ausdehnt, mit Wasser in Berührung, dem sie dabei die Wärme entzieht. Es wird nämlich in die sich ausdehnende Luft durch eine Pumpe aus einer Cisterne zugepumptes Wasser gespritzt, und dann in die Cisterne zurückgeführt; diese wird so ein Kältemagazin, worin in Gefäßen eingetauchtes Wasser sehr bald gefriert. Eben so ist die Verdünnung, die der aus dem Sicherheitsventile eines Dampfkessels ausströmende Dampf in der äußern Luft erfährt, die Ursache, warum er, wenn er im Kessel noch so stark gespannt und heiß war, schon ganz nahe über dem Ventile sich kalt anfühlt.

409. Reibung ist eine reiche Wärmequelle. Dies beweist die Entzündung des Phosphors und der phosphorhältigen Streichzündhölzchen beim Reiben; das Heißwerden der Bohrer, der Sägen, Hobeleisen u. dgl. beim Gebrauche; der Schneidewerkzeuge beim Schärfen auf dem Schleifsteine; der Metalle beim Feilen u. s. w.

Radschuhe erhitzen sich durch Reibung nicht selten so stark, daß sie, mit Wasser in Berührung kommend, zischen, und bei nicht geschmierten Axen der Wagenräder oder schnell rotirender Maschinentheile steigert sich diese Erhitzung oft so weit, daß sie selbst, oder wenn sie ganz aus Metall bestehen, mit ihnen in Berührung stehende brennbare Theile sich entzünden. Macht man ein in der Drehbank eingespanntes Holzstück schnell rotiren, während an dasselbe ein anderes Holzstück angedrückt wird, so findet an den Reibungsstellen bald Entzündung statt; die braunen und schwarzen Reifen, womit man Kinderspielzeuge und andere auf der Drehbank geformte Holzgegenstände verziert findet, sind durch, auf die eben angegebene Weise bewirkte Verkohlung des Holzes an den betreffenden Stellen erzeugt.

Beim Reiben der Körper (welches nichts Anderes ist, als ein Aneinanderdrücken derselben unter beständigem Wechseln der Druckstellen) wird zwar auch Verdichtung und ihr zu Folge Verminderung der Wärme-Capacität der betreffenden Körper bewirkt; diese scheint jedoch nicht die alleinige Ursache der bei der Reibung stattfindenden Wärmeentwicklung zu sein. Zu dieser Voraussetzung führt vorzüglich der Umstand, daß die besagte Wärmeentwicklung so lange fortdauert, als die Reibung währt, so daß die Körper in dieser Beziehung unerschöpflich erscheinen, während doch die Verdichtung derselben immer bald ihre Grenze erreicht hat. Welche große Wärmemenge die Reibung liefere, zeigt ein Versuch Rumford's, bei welchem durch nicht einmal sehr schnelle Drehung von Metall in Metall 20 Pfunde Wasser, womit dieses umgeben war, zum Kochen gebracht wurden. Auch die Wärmeentwicklung, welche zuerst Grove in dem Anker eines Magnetes während des rasch abwechselnden Magnetisirens und Entmagnetisirens des letzteren nachwies und die sich nachher auch in einem Stabe weichen Eisens fand, der einem rotirenden Stahlmagnete gegenüber lag, schreibt er einer Art Molekular-Reibung zu.

410. Wärme-Erregung durch chemische Action. Wird zu lebendigem (frisch ausgeglühtem) Kalke oder zu Schwefelsäure Wasser gebracht, so entsteht eine bedeutende Temperaturerhöhung dieser Körper; durch Beimischung von Schwefelsäure wird Kalk und eben so auch Baryt und Strontian sogar glühend; wird rauchende Salpetersäure, welcher etwas Schwefelsäure zugesetzt worden, in Terpentinöl gegossen, so findet augenblicklich eine solche Erhitzung statt, daß letzteres sich entflammt; bei der chemischen Einwirkung von Schwefelsäure auf chlorsaures Kali entsteht so viel Wärme, als zur Entzündung des Schwefels nothwendig ist. Hierauf beruhen die Tunk-Zündhölzchen (die an dem einen Ende bis zu geringer Weite mit Schwefel, darüber an der Spitze desselben Endes mit einer Masse überzogen sind, deren Hauptbestandtheil chlorsaures Kali ist, und mit dieser Spitze in Schwefelsäure getunkt werden). In allen eben besprochenen Beispielen von Wärmeentwicklung durch chemische Action ist diese Entwicklung Folge vor sich gegangener Veränderung der Dichte oder Aggregatform und eingetretener Verminderung der Wärme-Capacität, und aus gleichem Grunde ist jede chemische Verbindung mehr oder weniger von Temperaturerhöhung begleitet, wenn nicht dabei eine Verwandlung eines festen Körpers in die tropfbare oder eines tropfbaren in die ausdehnsame Form stattfindet, weil in diesen Fällen Wärme latent wird, daher Kälte entsteht. (**374** und **383**.) Bei complizirteren chemischen Prozessen, wobei aus den angegebenen Gründen Wärme sowohl gebunden als frei wird, hängt es, ob das eine oder das andere sich kundgibt, davon ab, welche von den beiden Wirkungen die andere überwiegt.

Bezüglich der Wärmeentwicklung bei chemischen Prozessen haben Arbeiten von Heß und Andrews rücksichtlich der Verbindung von Basen mit Säuren zu folgenden Resultaten geführt:

1. Verschiedene Basen entwickeln mit derselben Säure eine gleiche Wärmemenge (Heß); 2. wenn eine Base eine andere aus irgend einer ihrer neutralen Verbindungen verdrängt, so ist die entwickelte oder verschluckte Wärme immer gleich, was für eine Säure es auch sei, wenn nur die Basen dieselben sind.

Ein chemischer Prozeß, bei welchem eine reichliche Wärmeentwicklung statt hat, ist auch der Lebensprozeß. Menschen und Thiere haben bekanntlich eine constante Körperwärme, die von der Temperatur der Umgebung unabhängig ist und ihre Quelle im Körper selbst haben muß. Bei normaler Lebensthätigkeit beträgt eben so in der kalten wie in der heißen Zone die constante Körper-Wärme eines erwachsenen Menschen 36° bis 37°, eines Kindes 39°, eines Vogels 40°—42° C., und es sind über den Ursprung dieser Wärme zu verschiedenen Zeiten verschiedene Ansichten aufgestellt worden. Die neueste und zugleich entsprechendste derselben ist die von Liebig in München, welche die thierische Wärme aus der Verbindung des Kohlenstoffes und Wasserstoffes im Thierkörper mit dem Sauerstoffe der atmosphärischen Luft zu Kohlensäure und Wasser ableitet, (man sehe die chemischen Briefe von Liebig, Heidelberg 1844, S. 234 u. s. w.). Den Sauerstoff liefert die eingeathmete Luft, den Kohlenstoff und Wasserstoff, wie schon gesagt, der Thierkörper selbst, und dieser erhält dafür immer wieder Ersatz durch die genossenen Nahrungsmittel; besonders eignen sich hier jene, welche, wie Zucker, Gummi, Stärke, Weingeist und Fett, kein Blut zu erzeugen vermögen. Der von der Luft übrig bleibende Stickstoff, so wie die Kohlensäure und das Wasser, welche sich bilden, werden (das Wasser natürlich in Dampfform) ausgeathmet, letztere Stoffe zum Theil auch durch Hautausdünstung abgeschieden: der Stickstoff und der unverbrauchte (unverbrannte) Kohlenstoff der Nahrungsmittel wird in den Excrementen abgesondert. Bei der besagten Verbindung des Sauerstoffes mit Kohlenstoff und Wasserstoff wird eben so viel Wärme entwickelt, als wenn letztere Stoffe direkt im Sauerstoffe verbrannt worden wären; der einzige Unterschied ist, daß die erzeugte Wärme sich auf ungleiche Zeiten vertheilt, und daß, während die Wärmeerzeugung in reinem Sauerstoffe schneller vor sich geht und eine höhere Temperatur bewirkt, dieselbe in der Luft langsamer und mit Hervorbringung einer niedrigeren, aber länger anhaltenden Temperatur erfolgt. Es ist nun klar, daß mit der Menge des in gewisser Zeit eingeathmeten Sauerstoffes die Anzahl der freiwerdenden Wärmegrade zu- und abnehmen müsse (daher die oben erwähnte Verschiedenheit in der constanten Körperwärme bei Erwachsenen, Kindern u. s. w.). Da die Abkühlung des Thierkörpers unter sonst gleichen Umständen desto schneller erfolgt, je kälter die Luft ist, die er einathmet und je mehr er an diese und überhaupt an seine Umgebung Wärme abgibt; so sieht man ein, daß in demselben im Winter und in kälteren Klimaten mehr Wärme erzeugt, ihm mithin durch gesteigerten Athmungsprozeß eine größere Menge Sauerstoff zugeführt werden müsse, wenn nicht Erkaltung desselben eintreten und die erforderliche Wärmeerzeugung nicht auf Kosten des Kohlen- und Wasserstoffs seines Fettes und anderer seiner löslichen Bestandtheile stattfinden soll. Bedenkt man noch, daß die eben besagte Steigerung des Athmungsprozesses auch durch Bewegung des Körpers bewirkt werde; so begreift sich ganz natürlich: warum in kälteren Klimaten, im Winter, bei Bewegung in freier Luft, und überhaupt bei Bewegung und körperlicher Anstrengung das Verlangen nach Speise und das Bedürfniß nach mehr kohlen- und wasserstoffreichen Nahrungsmitteln größer und die Befriedigung dieses Bedürfnisses der wirksamste Schutz gegen die grimmigste Kälte ist; warum, wenn man sich wärmer kleidet, die Lust und das Bedürfniß zu essen sich vermindert; warum die Bewohner des Nordens ihren Appetit schwinden sehen, sobald sie in südlichen, wärmeren Gegenden sich aufhalten; warum Hungerleiden bei Anstrengung und Bewegung des Körpers und besonders in freier und kalter Luft so weh thut und so schnelle Abmagerung

zur Folge hat u. s. w. Eben so natürlich und leicht, wie die eben angeführten Thatsachen, erklären sich nach der Liebig'schen Ansicht auch alle übrigen, die Wärmeentwicklung in Thierkörpern betreffenden Erscheinungen, wenn man nur zugleich auch die andern Wärmequellen, als Druck, Reibung u. s. w. berücksichtigt, aus welchen auch diesen Körpern häufig Wärme entspringt.

411. Verbrennung. Ein chemischer Prozeß, mit welchem eine so reichliche Wärmeentwicklung verbunden ist, daß er fast ausschließlich alle die Wärme liefert, welche für die verschiedenen Zwecke im Leben künstlich erzeugt und nutzbar gemacht wird, ist die Verbrennung. Man versteht darunter gewöhnlich die unter Wärme- und Lichtentwicklung stattfindende chemische Verbindung des Sauerstoffs mit andern Körpern. In der Wissenschaft hat der Begriff aber eine weitere Ausdehnung, so daß da jede chemische Vereinigung von was immer für Körpern, wobei gleichzeitig Wärme und Licht sich entwickelt, ferner jede chemische Verbindung eines Körpers mit Sauerstoff, da bei derselben, wenn auch nicht Licht, doch immer Wärme frei wird, eine Verbrennung heißt. Beim Verbrennen durch Verbindung mit Sauerstoff nennt man diesen den Zündstoff und den Körper, womit sich derselbe verbindet, den Brennstoff oder brennbaren Körper, weil man sich, wenngleich unrichtiger Weise, vorstellt, daß immer nur der letztere Körper brenne (Wärme und Licht entwickle) und der Sauerstoff diesen Prozeß bloß einleite und unterhalte. Auch bei allen andern Verbrennungen, deren Ursache nicht eine chemische Vereinigung mit Sauerstoff, sondern anderer Körper unter einander ist, macht man diesen Unterschied zwischen Zünd- und Brennstoff in den eben bezeichneten Bedeutungen, und es kann ein und derselbe Körper, je nach der materiellen Beschaffenheit des Stoffes, mit dem er sich verbindet, die Rolle des Zündstoffes oder des Brennstoffes spielen, wie dies z. B. mit dem Schwefel der Fall ist, der beim Brennen in der Luft (dem Sauerstoff gegenüber) Brennstoff ist und bei dem Verbrennungsprozesse, welcher stattfindet, wenn man ein hinreichend erhitztes Stück Kupfer in eine Atmosphäre von Schwefeldampf bringt, den Zündstoff vorstellt. Wir werden in dem Nachfolgenden nur den gewöhnlichen, bei weitem wichtigsten Verbrennungsprozeß, jenen nämlich, wobei der Sauerstoff den sogenannten Zündstoff bildet, und zwar nach den zwei Beziehungen näher betrachten, in welchen man ihn im praktischen Leben immer ausbeutet, d. i. in Bezug auf Wärme- und auf Lichtentwicklung.

412. Einleitung des Verbrennungsprozesses. Da zu jeder chemischen Verbindung ein hinreichender Verwandtschaftsgrad der betreffenden Stoffe gehört, und dieser bei brennbaren Körpern und Sauerstoff fast immer erst in höherer Temperatur sich zeigt; so ist, um Verbrennung im Sauerstoffe oder in der atmosphärischen Luft zu veranlassen, es gewöhnlich nothwendig, daß der brennbare Körper darin bis zu einem gewissen Grade erwärmt werde, und dieses Erwärmen ist dasjenige, was man das Anzünden heißt. Der Grad der so erforderlichen Erwärmung ist nach der materiellen Beschaffenheit der betreffenden brennbaren Körper sehr verschieden, und man nennt die Körper leicht oder schwer entzündlich, je nachdem es, damit sie zu brennen anfangen (sich entzünden), einer nur schwachen oder starken Erhitzung bedarf. Erfolgt ihre Entzündung schon bei gewöhnlicher Lufttemperatur, so nennt man dieselben selbstentzündliche Körper oder Pyrophore. Solche sind z. B. Phosphorwasserstoffgas, welches sich selbst bei Temperaturen unter 0° R. entzündet, sobald es mit der Luft in Berührung kommt; der Homberg'sche Pyrophor, welcher durch gelindes Glühen von Kalialaun mit Kohlenpulver oder Zucker bereitet wird u. s. w. Die Kohle im porösen Zustande, wie man sie durch Verkohlen von Leinwand im Zunder erhält, wird schon durch einen Funken entzündet, während sie im compacten Zustande der gewöhnlichen Holzkohlen oder Coaks zur Entzündung weit stärkere Mittel braucht.

413. Fortdauer des Verbrennungsprozesses. Der zur Entzündung eines brennbaren Körpers nöthige Erhitzungsgrad liegt in der Regel weit unter der Temperatur, welche durch das Brennen des Körpers selbst entsteht, so daß, wenn nur der Verbrennungsprozeß einmal eingeleitet ist, die während desselben sich entwickelnde Wärme in den meisten Fällen hinreicht, ihn so lange zu unterhalten, bis der ganze Körper verbrannt ist; (die beim Verbrennen eines Theiles dieses letzteren freiwerdende Wärme genügt nämlich, um immer einen anderen angrenzenden Theil auf die zur Entzündung erforderliche Temperatur zu erheben). Es bedarf also in diesen Fällen, wenn der Körper einmal angezündet ist, damit er zu brennen fortfahre, keiner weitern Erwärmung von außen her, vorausgesetzt, daß ihm von der bei seinem Verbrennen selbst sich entbindenden und zum Fortbrennen nothwendigen Wärme nichts oder nicht zu viel entzogen werde, weil sonst seine Temperatur unter den zu seinem Brennen erforderlichen Grad herabgesetzt wird und er dann natürlich erlöschen muß.

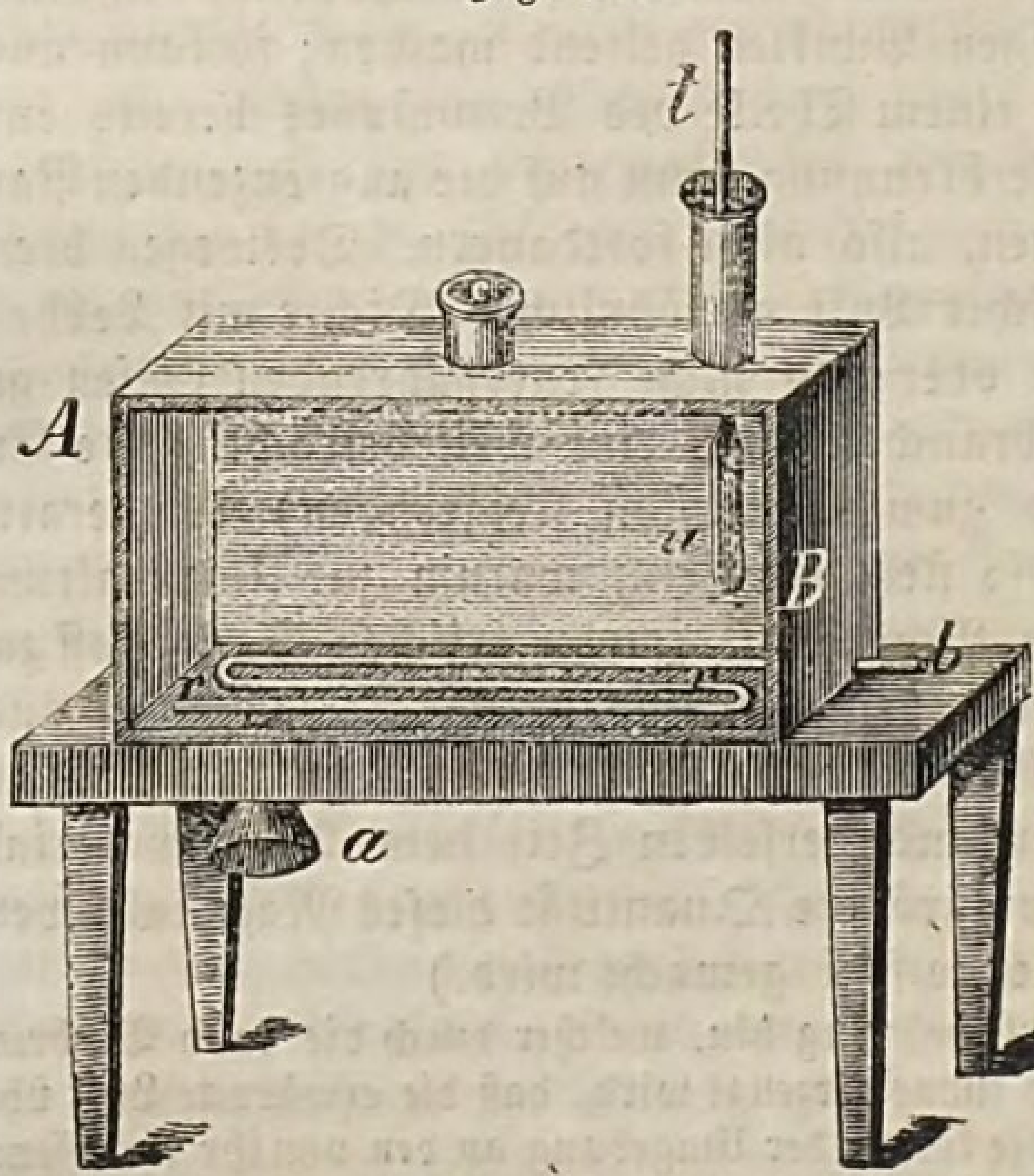
Außer dem besagten Temperaturgrad sind aber noch 1. Anwesenheit oder Zufluß einer hinreichenden Menge von Sauerstoff zum brennenden Körper und 2. Berührung des letzteren mit dem Sauerstoffe an hinlänglich vielen Punkten weitere Bedingungen der Unterhaltung und auch der Einleitung des Verbrennungsprozesses. Jeder brennbare Stoff muß sich nämlich, damit seine Entzündung erfolge, mit einer bestimmten Quantität Sauerstoff verbinden. Ist diese nicht vorhanden, fließt sie auch nicht zu oder kann der hinlänglich vorhandene Sauerstoff seine chemische Affinität zu dem brennbaren Körper nur an wenigen Punkten geltend machen; so kann auch keine Entzündung entstehen, und die an einem Theile des Brennstoffes bereits entstandene Entzündung oder eingeleitete Verbrennung kann auf die angrenzenden Parthien des Brennstoffes sich nicht ausdehnen, also nicht fortdauern. Deswegen brennen Körper, welche dies in atmosphärischer Luft gewöhnlicher Dichte mit Lebhaftigkeit thun, in hinreichend verdünnter oder mit nicht feuernährenden Gasen gemengter derartiger Luft gar nicht oder brauchen dazu eine weit beträchtlichere Erhöhung ihrer (den Verwandtschaftsgrad zum Sauerstoff steigernden) Temperatur als in der freien Atmosphäre, und eben so sieht man ein, warum zur Unterhaltung des Verbrennens ein entsprechender, dem Brennstoffe immer frischen Sauerstoff zuführender Luftzug gehöre; daß das Verbrennen mit Absperrung dieses Zuges auch aufhören, hingegen mit Erhöhung desselben an Lebhaftigkeit gewinnen müsse u. s. w. (Letzteres offenbar, weil dadurch in einer und derselben Zeit dem Brennmateriale mehr Sauerstoff geboten, mithin auch eine größere Quantität dieses Materiales verbrannt und daher eine größere Wärmemenge frei gemacht wird.)

In vielen Fällen reicht schon der (natürliche) Zug hin, welcher durch die beim Verbrennen selbst bewirkte Temperaturerhöhung dadurch immer erzeugt wird, daß die erwärmte Luft über dem brennenden Körper in die Höhe steigt und die kältere der Umgebung an den von ihr verlassenen Platz, also dem Brennstoffe zuströmt. Leicht brennbare Materialien brennen im Freien und unter Umständen, wo das Zuströmen der Luft nur von den Seiten her stattfinden kann, wie z. B. Weingeist auf einer Schale, Holz auf dem Erdboden, oder auf einem gewöhnlichen Küchenherde; hingegen muß der Brennstoff, wenn er, wie Steinkohlen, Anthracit, Coaks ꝛc. zu den schwerer brennbaren gehört oder überhaupt die Verbrennung vollständig und lebhaft sein soll, also der Sauerstoff dem Brennmateriale in großer Menge zuzuführen, und an möglichst vielen Punkten mit demselben in Berührung zu bringen ist, auf einen den Durchzug der Luft auch von unten her gestattenden Rost gelegt, überdies durch Abschließung der Feuerstelle an den Seiten und Anbringung von Schornsteinen entsprechender Dimensionen (S. 906) über denselben der Zug erhöht werden, damit die aus dem Feuer aufsteigende, des Sauerstoffes beraubte Luft schnell abziehe und frische atmosphärische Luft durch den Rost mit gleicher Geschwindigkeit eindringe. Daß andererseits diese Geschwindigkeit, also die Stärke des Zuges nicht zu groß sein darf, weil sonst der das Feuer durchziehende Sauerstoff mit dem Brennmateriale zu kurze Zeit in Berührung bleibt, um sich damit gehörig und vollständig verbinden zu können, leuchtet von selbst ein. Eben so ist für sich klar, daß das Anblasen der Feuer mittelst mehr oder weniger verdichteter Luft aus Blasebälgen oder Gebläsen gleichfalls eine reichlichere Zuführung von Sauerstoff zum Zweck hat.

Daß, wie oben unter 2. angeführt wurde, Berührung des Brennstoffes mit dem Sauerstoffe an hinreichend vielen Punkten Bedingung des Brennens sei, und ferner, daß der Verbrennungsprozeß unter sonst gleichen Umständen durch Vermehrung dieser Berührungspunkte gesteigert und beschleunigt werde, wird durch viele, unter andern auch durch folgende Erscheinungen bewiesen: In Kochsalzlösung getränkte und dadurch an den meisten Stellen mit Kochsalz überzogene Schafwolle brennt nicht oder nur außerordentlich schwer, worauf sich die feuersichern Kleider Aldini's gründen (so wie hier das Kochsalz, schützen auch andere nicht brennbare Stoffe gegen Feuer, wenn diese mit den besagten Materialien überzogen d. i. mit einem sogenannten feuersichernden Anstrich versehen werden); eine Stahlfeder, die in reinem Sauerstoffgase unter lebhaftem Funkensprühen verbrennt, erlischt, sobald man sie in atmosphärische Luft (ein Gemenge von 1 Volum Sauerstoff mit nahe 4 Volum Stickstoff) bringt, außer diese ist auf's Fünffache verdichtet, wo sie dann wie reiner Sauerstoff wirkt, (es liegt die Ursache dieser Erscheinung zugleich mit in dem Umstande, daß in nicht verdichteter atmosphärischer Luft das gebildete Eisenoxyd die Berührung des Metalls mit dem Sauerstoffe hemmt, während in der besagten fünffach verdichteten Luft oder in reinem Sauerstoffe dieses Oxyd abschmilzt oder verflüchtigt, mithin vom Metalle entfernt wird); in comprimirtem Sauerstoffgase brennen die Körper noch viel lebhafter als in solchem von gewöhnlicher Dichte u. s. w.

414. Bestimmung der beim Verbrennen freiwerdenden Wärme. Man bedient sich hierzu gewöhnlich des Wasser-Calorimeters von Rumford (Fig. 760), d. i. eines eigenen Apparates, bei welchem man die durch das Verbrennen entwickelte Wärme einer gewogenen Quantität kalten Wassers zuführt und aus der Temperaturzunahme desselben die fragliche Wärme berechnet. Es besteht dieser Apparat aus einem länglichviereckigen Kasten AB von dünnem Kupferblech, worin sich am Boden eine schlangenförmig gewundene Röhre r, r befindet, von welcher das eine trichterförmige Ende a durch den Boden und das andere Ende b durch die eine Seitenwand hervortritt. Die in größerer Zahl vorhandenen Windungen der Röhre von dünnem Bleche liegen alle in horizontaler Ebene. Beim Gebrauch füllt man den Kasten durch die nachher mit Kork zu verschließende Röhre c mit Wasser, läßt den Körper, dessen beim Verbrennen sich entwickelnde Wärme zu ermitteln ist, unter dem Trichter verbrennen, mißt mittelst des von einem durchbohrten Kork getragenen Thermometers tu (dessen Quecksilbergefäß durch die ganze Höhe des Kastens reicht) die hierdurch bewirkte Temperaturerhöhung des Wassers und leitet nun aus dieser, aus dem Gewichte des Wassers und jenem des Kastens die von einem gegebenen Gewichte des betreffenden Brennmaterials entwickelte Wärme auf eine Weise ab, die folgendes Beispiel klar machen wird. Es betrage das Gewicht des aufgegangenen (verbrannten) Materials 10 Gramme, das Gewicht des Wassers 10 Kilogramme, das des Kastens 1 Kilogramm und die Erhöhung der Temperatur des Wassers 5° C. Da die spezifische Wärme des Kupfers $= 0{\cdot}0951$ ist, so wird die Menge der vom Kasten absorbirten Wärme der gleich sein, die von einem gleichen Gewichte Wassers verschluckt worden wäre, multiplizirt mit 0·0951. Demnach hat die von 1 Gramm Brennmaterial entwickelte Wärme ein Gewicht Wassers von 10 Kilogr. $+$ 1 Kilogr. $\times$ 0·0951 $=$ 10·0951 Kilogr. um 5° C. erwärmt und könnte daher $10{\cdot}0951 \times 5 = 50{\cdot}4755$ Kilogr.

Fig. 760.



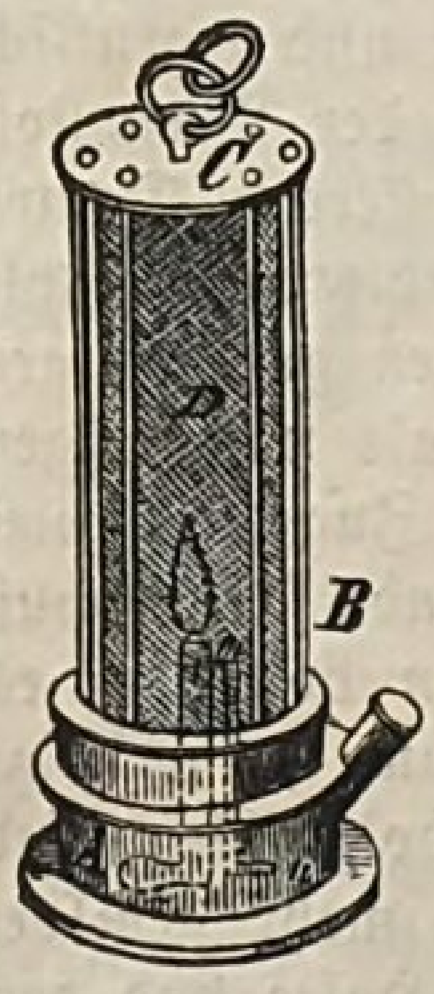
Wasser um 1° in der Temperatur erhöhen. Damit man durch dieses Verfahren genaue Resultate erhält, müßte dabei auf die während desselben stattfindende Abkühlung, auf die Temperatur der aus der Schlangenröhre bei b austretenden Verbrennungsprodukte und auf die von dem Brennmateriale unter dem Trichter durch Ausstrahlung verloren gehende Wärme Rücksicht genommen werden. Auf diesem Wege und durch andere Untersuchungen wurde gefunden, daß ein Pfund der hier folgenden Brennstoffe, die durch die rechts beigesetzten Zahlen ausgedrückten Pfunde Wassers um 1° C. zu erwärmen vermag: Völlig getrocknetes Holz 3600, lufttrockenes Holz 2900, Holzkohle 7500, reine Kohle 7800, Steinkohle 6000—7000, Torf 2500—3000, Torfkohle 6300, Coaks 6500—6600, Baumöl 11200, Rüböl 9300, Talg 8000, Wachs 9000, Alkohol 6000, Aether 8000, Steinkohlengas 7700, Kohlenoxydgas 2500, Wasserstoffgas 34600 ... (†). Die folgenden, den vorstehenden analogen Zahlen wurden von Andrews ermittelt, und zwar für: Wasserstoff 33808, Kohlenoxyd 2431, Sumpfgas 13108, ölbildendes Gas 11942, Kohle 7678, Schwefel 2307, Alkohol 6850, Phosphor 5747, Zink 1301, Zinkoxydul 521, Kupferoxydul 256. Mit Chlor als Zündstoff entwickelt ein Pfund: von Kalium 2943, von Zinn 1079, von Antimon 707, von Arsen 994, von Phosphor 3422, von Zink 1519, von Kupfer 961. (Nach Heß entwickelt ein zusammengesetzter Brennstoff immer weniger Wärme, als seine Bestandtheile, einzeln genommen, zusammen.)

Eine bestimmte Menge eines Brennmaterials entwickelt beim Verbrennen immer die nämliche Wärmemenge, die Verbrennung mag in reinem Sauerstoffe oder in der atmosphärischen Luft, schnell oder langsam vor sich gehen, und die entwickelte Wärmemenge scheint dem Gewichte des verzehrten Sauerstoffs proportional zu sein; die Temperatur, die daraus erzeugt wird, ist aber von der Zeit abhängig, während welcher die Entwicklung erfolgt und zwar desto höher, je geringer diese Zeit ist. Bei jeder Verbrennung geht von der dabei sich entwickelnden Wärme immer mehr oder weniger für die eigentlichen Zwecke, für welche sie (die Verbrennung) eingeleitet und unterhalten wird, verloren. Ein Theil wird von dem Mauerwerk, welches gewöhnlich das Feuer umgibt und eigentlich nicht zu erwärmen ist, absorbirt; ein anderer Theil wird, wenn der Brennstoff nicht ganz trocken ist, zur Verwandlung des in ihm enthaltenen Wassers in Dampf verwendet; wieder ein anderer Theil geht mit dem nachher erhitzten Dampfe und mit den andern über dem Feuer (im Schornsteine) aufsteigenden gasförmigen Verbrennungsprodukten davon, die sowohl zu ihrer Entstehung als nachherigen Erhitzung Wärme brauchen; wird dem Feuer in Folge zu starken Zuges zu viel Luft zugeleitet, so führt auch der erhitzte und gleichfalls aufsteigende Ueberschuß Wärme mit sich fort u. s. w. Man sieht hiernach ein, warum man dort, wo es bei Holzfeuerung, z. B. in Glasschmelzöfen, sich um sehr schnelle und große Hitze handelt, das Holz vorher möglichst trocknet (dörrt); warum Holzkohlen und Coaks, bei deren Verbrennung nur wenig gasförmige Produkte mehr gebildet werden (da diese beim Verkohlungs- und Vercoakungsprozesse dem Holze und den Steinkohlen schon entzogen wurden) viel mehr Hitze geben, als die eben genannten Brennstoffe selbst. Da beim Verbrennen von Knallgas (man sehe S. 680 und 681, wo auch der Daniell'sche Hahn beschrieben ist, dessen man sich am besten zur gefahrlosen Bewerkstelligung dieses Verbrennens bedient) von der dabei sich entwickelnden Wärme durch die oben angeführten Ursachen nur äußerst wenig verloren geht, da ferner Wasserstoffgas (†) beim Verbrennen sehr viel Wärme entwickelt, da überdies gerade mit der zum vollkommensten Verbrennen erforderlichen Sauerstoffmenge zusammengebracht und endlich das Verbrennen immer bei comprimirtem Zustande beider Gase bewerkstelligt wird; so liefert verbrennendes Knallgas auch die größte Hitze, so daß Platin darin wie Wachs in einer Kerzenflamme fast augenblicklich schmilzt.

415. Unterdrückung des Verbrennungsprozesses. Die Mittel hierzu ergeben sich von selbst aus der Betrachtung der in **413** besprochenen nothwendigen Bedingungen des Fortdauerns einer einmal begonnenen Verbrennung. Wird nämlich diesen Bedingungen nicht mehr entsprochen, so muß auch der Verbrennungsprozeß aufhören. Es sind die fraglichen Mittel daher folgende: 1. Ableitung von so viel Wärme aus dem brennenden Körper, daß der Wärmerückstand nicht mehr hinreicht, diesen Körper auf der zu seinem Brennen nöthigen Temperaturhöhe zu erhalten. 2. Verminderung oder Aufhebung der Berührung des brennenden Körpers mit dem Sauerstoffe und 3. Abhaltung des nöthigen Sauerstoffzuflusses zu diesem Körper durch Hemmung oder Aufhebung des Luftzuges (offenbar ist eben so ein zu starker Zug, weil dadurch der Sauerstoff zu schnell an dem brennenden Körper vorübergeführt wird, so daß er mit demselben sich nicht verbinden kann, auch ein die Verbrennung schwächendes oder unterdrückendes Mittel).

Aus 1. erklärt sich: das schnelle Erlöschen der glühenden Kohlen, wenn man sie auf einen steinernen Fußboden, auf einen Amboß oder auf einen anderen größeren, die Wärme gut leitenden Körper legt; der Vortheil, den es in Bezug auf Erhöhung des Verbrennungsprozesses gewährt, einem Feuer nicht kalte, den brennenden Körper abkühlende, sondern schon vorher erhitzte Luft zuführen, worauf sich das Anblasen der Hochöfen, Frischfeuer u. s. w. mit heißer Luft und Mohr's verbesserte Glasbläserlampe (Dingler's Journ. 1. Maiheft 1853, S. 191), gründet (bei dieser Lampe wird nämlich die Luft des Gebläses, bevor sie der Flamme zuströmt, in einem horizontal über die Flamme hin und zurück geführten Theil der Ausflußröhre, deren Mundstück übrigens wie immer gerade vor dem Dochte steht, erhitzt, und zwar durch jenen Theil der Flamme, welcher, da diese nie ganz in den horizontalen Windstrom hineingezogen werden kann, immer gerade in die Höhe brennt); warum Flammen durch hinreichend dichte (feine) Geflechte aus Draht nicht hindurchgehen, wie es sich zeigt, wenn man ein Stück eines solchen Geflechtes horizontal in eine Kerzenflamme hält, so daß es oberhalb des Dochtes quer durch die ganze Flamme geht, indem darin letztere durch das Geflechte gleichsam abgeschnitten erscheint. Auf diese Wärme ableitende Wirkung eines dichten Drahtgeflechtes gründet sich Davy's Sicherheitslampe, welche den Zweck hat, die in Kohlenbergwerken sonst so häufig vorkommenden Explosionen zu verhüten, welche oft ganze Strecken des Bergwerkes einstürzen machen, schon Tausende von Menschenleben gekostet haben, und dadurch entstehen, daß die Bergleute mit ihren offenen Grubenlampen plötzlich in sogenanntes schlagendes Wetter kommen und dasselbe anzünden (das schlagende Wetter ist Knallgas, welches durch Mengung des Sauerstoffs der atmosphärischen Luft mit durch Zersetzung der Steinkohlen unter Einwirkung von Luft und Feuchtigkeit gebildeten Kohlenwasserstoffgase erzeugt wird und im Bergwerke stellenweise in größerer Menge sich ansammelt). Es besteht diese Lampe in ihrer einfachsten Gestalt (Fig. 761) aus einem Oelbehälter A, auf welchem oben ein cylindrisches, aus dickem Eisendraht bestehendes und mit einer metallenen Deckplatte C versehenes Gerippe B aufgeschraubt ist, welches einen Drahtgeflechtscylinder D enthält, woran der Draht höchstens $\frac{1}{40}$ Zoll dick und die Zwischenräume der Maschen nicht über $\frac{1}{20}$ Zoll weit sein dürfen, und welcher die Flamme einschließt. In der Docht-Tülle (dem Röhrchen, durch welches oben im Gefäße der Docht geht) ist an der Seite eine Oeffnung, durch welche man mittelst eines rechtwinklig umgebogenen, durch den Oelbehälter hinabgehenden und von unten zugänglichen und beweglichen Draht mn den Docht höher und niedriger stellen kann. Da das Drahtnetz wenig Licht durchläßt, die Lampe daher nur schwach leuchtet, so ersetzt man häufig den untern Theil des Drahtnetzcylinders, so weit nämlich als die Flamme emporreicht, durch eine hohle Kugel oder einen kurzen Cylinder aus dickem Glase. Kömmt nun der Bergmann mit der beschriebenen Lampe an einen Ort, wo schlagendes Wetter vorhanden ist, so entzündet sich und explodirt die in den Drahtnetzcylinder eingedrungene Menge desselben, allein der Docht verlischt und die Verbrennung kann nicht aus dem besagten Cylinder heraus sich verbreiten, weil derselbe dem explodirenden Gase beim Durchgange durch seine Maschen so viel Wärme entzieht, daß es nicht mehr leuchten (mit Lichtentwicklung verbrennen), das schlagende Wetter der Umgebung also nicht anzünden kann. Einen ähnlichen Grund wie die Sicherheits-

Fig. 761.



lampe hat auch die Wirkung der aus Metallnetzen bestehenden, vorzüglich für das Feuerlöschpersonale bestimmten und nützlichen Sicherheitskleider und Sicherheitsmasken Albini's, die über ein mit Salz imprägnirtes Wollkleid angezogen werden, um gegen Flammenfeuer geschützt zu sein.

Das oben unter 1, 2. und 3. Angeführte erklärt ferner: Das Löschen von Feuer durch Bedeckung oder innige Umhüllung des brennenden Körpers mit Sand, Erde, Mist, Häckerling, oder andern die Berührung und den Zutritt der Luft aufhebenden oder den brennenden Körper abkühlenden Substanzen; die feuerlöschende Wirkung des Wassers, welches die brennenden Körper durch seine niedrigere Temperatur und durch Binden einer großen Wärmemenge bei seiner rasch vor sich gehenden Verdampfung schnell und stark abkühlt und dieselben überdieß, wenn es in hinreichender Menge zugeführt wird, mehr weniger einhüllt (wenig Wasser einem starken Feuer zuführen ist so viel, als Oel in dieses gießen, denn das wenige Wasser wird schnell in Sauerstoff und Wasserstoff zersetzt, letzterer brennt selbst und ersterer unterstützt und nährt das Brennen). Die Wirkung der sogenannten Feuerlöschpulver gründet sich auf die Erzeugung von Gasen aus denselben, welche zur Unterhaltung des Verbrennens untauglich sind. Daß das Schließen eines Kamins oder Schornsteins durch Hemmung des Zuges löschend wirke und beim Ausblasen einer brennenden Kerze die zu große Geschwindigkeit des erzeugten Luftstromes wirksam sei, ist für sich einleuchtend.

416. Lichtentwicklung beim Verbrennungsprozesse. Die Verbrennung ist bekanntlich nicht bloß Wärme- sondern auch Lichtquelle und wird oft bei den als künstliche Beleuchtungsmittel dienenden Stoffen, Oel, Talg, Wachs, Stearin, Leuchtgas u. s. w. nur der Lichterzeugung wegen bewerkstelligt. Indem die Körper beim Brennen leuchten, glühen sie entweder bloß, oder sie brennen mit Flamme, oder sie thun beides zugleich. Flamme nennt man die ausdehnsamen Stoffe, welche beim Brennen eines Körpers sich leuchtend aus demselben entwickeln. Körper, die nicht gasförmig sind, in der Hitze auch weder gasförmig werden, noch zu Folge Zersetzung brennbare Gase geben, wie z. B. Eisen, Kalk, gut ausgebrannte Holzkohle und Coaks, können daher nur glühen.

Die Temperatur des anfangenden Glühens ist bei allen Stoffen die nämliche (nach Draper 977° F. oder 420° R.). Wenn das Glühen eines Körpers durch Erhöhung seiner Temperatur über den eben besagten Punkt lebhafter und glänzender wird, so findet mit dieser Vergrößerung der Intensität des Lichtes immer auch eine Mannigfaltigkeit der dasselbe zusammensetzenden Elementarfarben statt und es erfolgt ein Zusatz von desto brechbareren Strahlen, je höher die Temperatur des glühenden Körpers wird.

417. Die Leuchtkraft eines brennenden Körpers hängt von seiner materiellen Beschaffenheit, von seiner Dichte und von der Lebhaftigkeit und Vollständigkeit des Verbrennungsprozesses ab. Gekohltes Wasserstoffgas leuchtet heller als reines, verdichtetes heller als nicht verdichtetes, und die weit dichteren festen und tropfbaren Körper geben in der Regel alle mehr Licht als die nur sehr wenig dichten Gase. Diese besitzen überhaupt nur sehr schwache Leuchtkraft. Die als Leuchtmittel dienenden Flammen von verbrennendem Oel, Wachs, Stearin, Leuchtgas (welches aus Steinkohlen, Harz oder Holz in den Gasbeleuchtungsanstalten erzeugt wird) u. s. w., verdanken ihre Lichtstärke insgesammt dem Kohlenstoffe, der sich, fein zertheilt, in denselben ausscheidet und dann glüht (verbrennt). Wie sehr das Mitglühen eines festen Körpers die Leuchtkraft eines brennenden Gases erhöht, zeigt sich deutlich an der Flamme des Weingeistes, welche für sich nur sehr schwach leuchtet, hingegen ein viel intensiveres Licht gibt, wenn der baumwollene Docht der Weingeistlampe mit kohlensaurer, schwefelsaurer oder salzsaurer Soda getränkt ist, oder wenn Platindraht in die Flamme gebracht wird. (Hierauf gründet sich die Anwendung des Wasserstoffes als Leuchtmittel, nach Gillard, welcher durch Umgebung einer Wasserstoffgasflamme mit einem der Flamme an Gestalt und Größe gleichen Geflechte aus feinem Platindrahte ein starkes Licht erhielt.) Dem Wasserstoffgase kann man die Lichtstärke des besagten Leuchtgases geben, wenn man es vorher durch Terpentinöl, Theeröl oder

Theer leitet, indem es hierbei Antheile dieser Substanzen aufnimmt, die bei ihrer nachherigen Zersetzung Kohlenstoff ausscheiden, der mitglüht. Ein auße ordentlich intensives Licht, das unter dem Namen des Drummond'schen Lichtes schon auf Seite 680 als Surrogat für das direkte Sonnenlicht besprochen wurde, liefert Kalk, welcher in einer Knallgasflamme glüht. Indem hier ein äußerst feuerbeständiger Körper (der Kalk) in der heißesten aller Flammen in die höchste Weißglut gebracht wird, sind offenbar alle Bedingungen der stärksten Lichtentwicklung vorhanden. Auch bei einer gewöhnlichen mit Luft oder (besser) mit reinem Sauerstoff gespeisten Flamme wird durch Mitglühen von Kalk die Leuchtkraft ungemein erhöht.

Um recht gut einzusehen, worauf es überdies zu möglichster Erhöhung des Leuchtvermögens der zur Beleuchtung zu verwendenden Flammen ankomme, wollen wir das Wesen dieser letzteren und den Vorgang darin etwas näher betrachten.

Alle Flammen haben eine nach oben spitzige Gestalt, weil das sie bildende, stark erhitzte Gas spezifisch leichter ist als die atmosphärische Luft, mithin in derselben aufsteigt, außer man gibt demselben durch einen (mittelst des Löthrohrs, der Düse eines Gebläses o. dgl.) künstlich zugeführten Luftstrom eine andere Richtung. Die einfachste Flamme ist eine gewöhnliche Leuchtgasflamme. Sie besteht aus einem inneren, dunkeln Theil, in welchem das Gas mit dem Sauerstoffe der Luft nicht in Berührung kommen, daher nicht verbrennen und nicht leuchten kann, und einer diesen dunkeln Theil umgebenden leuchtenden Hülle. Man überzeugt sich hiervon, wenn man die Flamme mittelst eines horizontal durch dieselbe gehaltenen feinen Drahtnetzes abschneidet und von oben auf dieses Netz herabsieht. Es zeigt sich da in der Mitte ein kreisrunder, dunkler Fleck, um denselben herum ein leuchtender Ring, und man kann in der Mitte ein Stückchen Phosphors oder eines andern sehr brennbaren Stoffes hineinhalten, ohne daß es sich entzündet. An einer Kerzenflamme (und in ähnlicher Weise auch an andern Dochtflammen) sind, wie Fig. 762 anschaulich macht, vorzüglich drei verschiedene Theile zu unterscheiden. Zunächst um und über dem Dochte ist ein dunkler, kegelförmiger Raum (Kern) a, gebildet von den Produkten der Zersetzung, welche das vom Dochte aufgesogene Fett in dem obern Theil desselben, ohne mit der Luft in Berührung zu kommen, (also gerade, wie bei der trockenen Destillation in einer Retorte) erfährt. Die zu diesen Produkten von unten nach oben zuströmende Luft verbrennt anfangs vorzüglich den Wasserstoff und es scheidet sich die Kohle im glühenden Zustande ab. Der Raum b der Flamme, worin dies geschieht, ist ihr eigentlich leuchtender Theil. In der äußeren bläulich leuchtenden Hülle c endlich findet das Verbrennen der Kohle statt; letzteres ist besonders an der Basis dieser Hülle bemerklich, welche deswegen nicht leuchtend erscheint. Wird durch den inneren Theil a der Flamme Luft geleitet, so daß auch von dieser Seite her die Produkte der oben besagten trockenen Destillation mit Sauerstoff in Berührung kommen; so geht die Verbrennung dieser Produkte vollständiger und lebhafter vor sich und die Flamme gibt ein stärkeres Licht. So geschieht es bei den Argand'schen Lampen und bei Kerzen mit hohlen Dochten, ferner bei den ringförmigen Brennern für Leuchtgasflammen. Welchen mächtigen Einfluß auf die Leuchtkraft einer Flamme die Speisung derselben mit erhitzter Luft und die Verminderung der Abkühlung der Flamme durch Luftströme, die keinen Antheil an der Verbrennung nehmen, ausüben, zeigt am besten die von Benkler, Spengler in Wiesbaden, im Jahre 1840 erfundene Lampe. (Dingler's polyt. Journ. Bd. 78, S. 423, und Bd. 84, S. 211.) Wird überdies dem auf solche Weise durch das Innere der Flamme veranlaßten

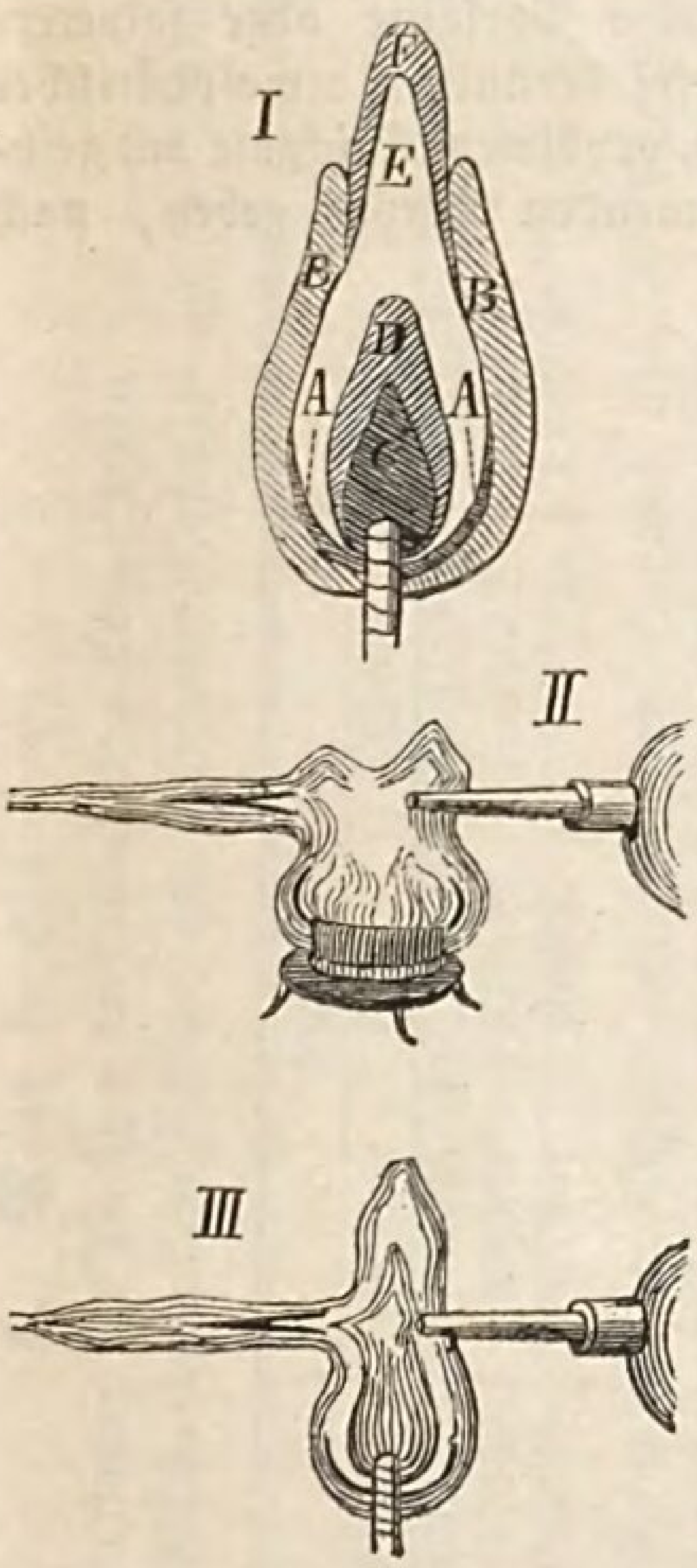
Fig 762.



und dem an der äußeren Flammenfläche hingehenden, durch Anbringung eines gläsernen Schornsteins über der Flamme erhöhten Luftzug eine der vollkommenen Verbrennung des Wasser- und Kohlenstoffes der erwähnten Produkte entsprechende Stärke gegeben, was sich durch gehörige Dimensionen des Kanals für den inneren Luftzug und durch eine hiermit, so wie mit dem Durchmesser des Brenners in richtigem Verhältnisse stehende Länge, Weite und Gestalt des gläsernen Schornsteins erzielen läßt, so erhält die Flamme die möglich größte Leuchtkraft.

Volger unterscheidet in der Kerzenflamme 6 verschiedene Theile (Fig. 763) nämlich: den dunkeln Gaskegel C, der aus den Zersetzungsprodukten der fetten Säuren besteht, welche sich in der ebenfalls dunkeln Hülle A wie in einer Retorte eingeschlossen befinden, und nach oben sich verflüchtigen. Dieser innerste Glaskegel C ist umhüllt von einem mit A und C den dunkeln Flammenstern ausmachenden Hohlkegel D, der von den bereits in Kohlenstoff und Wasserstoff geschiedenen Zersetzungsprodukten gebildet, die innere Mütze genannt wird, und wegen des darin schon schwach glühenden Kohlenstoffes als ein röthlich dunkler Schein um C erscheint. Die sogenannte äußere Mütze E besteht aus den in der inneren Mütze von einander geschiedenen Gasen, welche hier mit dem Sauerstoffe der Luft verbrennen. Es ist diese äußere Mütze eine große Wasserstoffgasflamme, in welcher besonders im mittleren Theile die Kohlenstofftheilchen blendend weiß erglühen, und dann verbrennen; der untere, in der Figur in 2 Spitzen erscheinende Rand dieser Mütze ist nur glühendes Gas mit noch nicht so hell glühenden Kohlenstofftheilchen, indem von diesem Theile der Zutritt der Luft durch die Hülle A abgeschlossen ist. In der obern Spitze der äußeren Mütze dagegen und überhaupt in der äußersten Umgebung F derselben verbrennt der Kohlenstoff mit dem Wasserstoffe zugleich und leuchtet daher nicht mehr, so daß F als eine röthlichviolete Umgebung der Mütze erscheint, dem sogenannten Schleier B völlig gleicht, und eben so wie dieser eine sehr heftige Hitze entwickelt. Diese fortwährende Hitze des Schleiers bewirkt die oben besagte Scheidung der Zersetzungsprodukte in Kohlenstoff und Wasserstoff. Der Schleier und die Umgebung F pflegen sich bei einer lebhaften Flamme zu vereinigen. Daß im Schleier der Kohlenstoff nicht leuchtet, kömmt daher, daß er darin nicht glüht, sondern verbrennt, so wie in der Umgebung F der Lichtmütze E. Die Ursache des Lichtes in der Flamme ist das Leuchten der Kohle, was dadurch bewiesen wird, daß, wenn man einen Draht in die leuchtende Mütze hält, woran sich die Kohle abkühlt, dann über dem Drahte in der Lichtmasse ein dunkler, der leuchtenden Kohle entbehrender Fleck sich befindet. Wenn man der Flamme durch ein Löthrohr eine horizontale Richtung gibt, indem man die Löthrohrspitze in die innere dunkelröthliche Mütze D steckt, und den ganzen Gaskegel heraus bläst; so kann man dadurch eine gesteigerte Hitze, eine Orydation oder Desorydation (Reduktion) eines betreffenden Stoffes bewirken. Ersteres wird erreicht, indem durch die in die Flamme eingeblasene Luft nun in dieser, nachdem sie eine Richtung nach der Seite erhalten hat, wie in Fig. bei II und III, die Verbrennung des in D vorhandenen Wasserstoffs und Kohlenstoffs nicht mehr bloß von außen herein, sondern zugleich von innen heraus bewirkt wird, und die Verbrennung geht so rasch vor sich, daß die Spitze bei II des seitwärts geblasenen Flammenkegels kaum mehr leuchtet, sondern ganz so wie der Schleier B und die Umgebung F der äußeren Mütze E Fig. 763 bei I, welche beim Gebrauch des Löthrohrs ganz unverändert bleiben, röthlichviolet erscheint, und eine sehr starke Hitze entwickelt, es sei denn, daß die Ausflußöffnung des Löthrohrs zu groß wäre, wo dann der überschüssige Luftstrom die Hitze vermindern würde. Um eine Orydation eines passenden Stoffes zu bewirken, ist dieser in einiger Entfernung vor der Spitze der röthlich violeten Flamme oder besser, wenn ein höherer Hitzgrad nöthig ist, unter Anwendung einer weiteren Löthrohrspitze in dieser Flamme selbst zu glühen; im ersteren Falle geschieht die Orydation auf Kosten des Sauerstoffes der äußern Luft, im letzteren Falle aber durch den

Fig. 763.



überschüssig in die Flamme geblasenen Sauerstoff. Eine Desoxydation (Reduktion) bringt man hervor, wenn man sich eines Löthrohrs mit engerer Ausflußöffnung bedient, und den zu reduzirenden Körper (die Probe) so in die röthlichviolete Flamme bringt, daß er von derselben ganz umhüllt ist, weil dann durch das Löthrohr zu wenig Sauerstoff zur Verbrennung des in besagter Flamme enthaltenen Kohlenstoffes zugeführt wird, und dieser letztere, um verbrennen zu können, genöthigt ist, der Probe noch Sauerstoff zu entziehen. Liegt diese während der beschriebenen Löthrohrwirkung auf einem Stück Holzkohle, so wirkt diese bei der besagten Sauerstoffentziehung besonders kräftig mit.

Die Farbe einer Flamme hängt von der Natur des Brenn- und des Zündstoffes, und vom Grade der Lebhaftigkeit des Verbrennens ab. Arsenik und Zink brennen weiß, Selen asurblau, Sodasalze gelb, Kalisalze blaß violet, Kalksalze ziegelroth, Strontiansalze carmoisinroth, Weingeist, worin Borsäure oder salpetersaures Kupfer aufgelöst worden, brennt grün, Schwefel brennt in atmosphärischer Luft mit bläulicher, in Sauerstoff mit schön violeter, in oxydirtem Stickgase mit gelblich rother Farbe u. s. w. Alle unvollkommen brennenden Körper geben, nach Brewster, gelbes Licht.

I. Tabelle.

Vergleichung der häufiger vorkommenden Längenmaße.

a. Umwandlung des Wiener Flächenmaßes in Pariser und Londoner Fußmaß und in Metrisches Maß. (Zur Seite 9.)

1 Wiener	hat Pariser			hat Londoner			hat			
	Fuß	Zoll	Linien	Fuß	Zoll	Linien	Meter	Decimeter	Centimeter	Millimeter
Fuß	0·973125	11·677500	140·130000	1·037123	12·445476	149·345712	0·316109	3·161093	31·610928	316·109276
Zoll	0·081094	0·973125	11·677500	0·086427	1·037123	12·445476	0·026342	0·263424	2·634244	26·342439
Linie	0·006758	0·081094	0·973125	0·007202	0·086427	1·037123	0·002195	0·021952	0·219520	2·195203

b. Umwandlung des Pariser Fußmaßes in Wiener und Londoner Fußmaß und in Metrisches Maß.

1 Pariser	hat Wiener			hat Londoner			hat			
	Fuß	Zoll	Linien	Fuß	Zoll	Linien	Meter	Decimeter	Centimeter	Millimeter
Fuß . . , . . .	1·027617	12·331404	147·976848	1·065764	12·789168	153·470016	0·324839	3·248390	32·483904	324·839043
Zoll	0·085635	1·027617	12·331404	0·088814	1·065764	12·789168	0·027070	0·270699	2·706992	27·069920
Linie	0·007136	0·085635	1·027617	0·007401	0·088814	1·065764	0·002256	0·022558	0·225583	2·255826

c. Umwandlung des Londoner Fußmaßes in Wiener und Pariser Fußmaß und in Metrisches Maß.

1 Londoner	hat Wiener			hat Pariser			hat			
	Fuß	Zoll	Linien	Fuß	Zoll	Linien	Meter	Decimeter	Centimeter	Millimeter
Fuß	0·964206	11·570472	138·845664	0·938294	12·259528	135·114336	0·304794	3·047945	30·479450	304·794509
Zoll	0·080350	0·964206	11·570472	0·078191	0·938294	11·259528	0·025399	0·253995	2·539954	25·399542
Linie	0·006696	0·080350	0·964206	0·006516	0·078191	0·938294	0·002117	0·021166	0·211663	2·116628

d. Umwandlung des Metrischen Maßes in Wiener, Pariser und Londoner Fußmaß.

1 Französischer	hat Wiener			hat Pariser			hat Londoner		
	Fuß	Zoll	Linien	Fuß	Zoll	Linien	Fuß	Zoll	Linien
Meter	3·163463	37·961556	455·538672	3·078444	36·941328	443·295936	3·280899	39·370788	472·449456
Decimeter . . .	0·316346	3·796156	45·553867	0·307844	3·694133	44·329594	0·328090	3·937079	47·244946
Centimeter . . .	0·031635	0·379616	4·555387	0·030784	0·369413	4·432959	0·032809	0·393708	4·724495
Millimeter . . .	0·003163	0·037962	0·455539	0·003078	0·036941	0·443296	0·003281	0·039371	0·072449

Vergleichung einiger anderer Fußmaße mit dem Wiener Fuß und mit dem Meter.

(Zur Seite 9.)

Ortsname des Fußmaßes.	Enthält Meter	Enthält Wien. Fuß
Aarau (1 Fuß=12 Zoll)	0·300025	0.949140
Alessandria (ord. F.)	0·342435	1·083304
" (Limprandischer Fuß)	0·513670	1·625013
Altona	0·286490	0·906321
Ancona	0·390710	1·236023
Appenzell	0·314688	0·995526
Basel	0·298200	0·943365
Berlin (preußischer od. rheinl. F.)	0·313853	0·992886
Bern	0·293325	0·927943
Botzen	0·334120	1·0570
Braunschweig	0·285360	0·902746
Bremen	0·289200	0·914894
Cadix (Pies, Fuß)	0·282635	0·894188
Carlsruhe (badenscher Fuß)	0·300025	0·949140
Cassel (hessisch. F.)	0·287699	0·910145
Copenhagen (dänischer Fuß)	0·313842	0·992850
Crakau (Stopa, F.)	0·356421	1·127550
Darmstadt	0·2500	0·790883
Dresden (sächs. F.)	0·282655	0·894190
Ferrara	0·401312	1·269564
Frankfurt a. M.	0·284600	0·900341
Freiburg	0·293258	0·927731
Fulda (Werkfuß)	0·282880	0·894900
Genf	0·487936	1·543601
Gotha	0·287618	0·909889
Grömingen (niederländ. Palme)	0·100000	0·316109
Hamburg	0·286490	0·906321
Hanau	0·285200	0·902239
Hannover	0·291990	0·923720
Hildesheim	0·280173	0·886336
Lausanne	0·293258	0·927731
Lemberg (poln. F.)	0·296965	0·939459
Lemgo	0·287593	0·909811
Lissabon (Palmo, Fuß)	0·218588	0·691510
Lübeck	0·291002	0·920594
Lucca	0·589908	1·866193
Luzern	0·314688	0.995526
Madrid (Pies, F.)	0·282655	0·894188
Mahon (Palma)	0·214473	0·678492
Messina (sizil. F.)	0·242050	0·765733
Modena	0·517712	1.637799
München (bair. F.)	0·291859	0·923306
Neapel (Palmo)	0·263630	0·834002
Neufchatel	0·300020	0.949123
Nizza (Palmo)	0·2650	0·838336
Oldenburg	0·296415	0·937718
Osnabrück	0·279272	0·883485
Petersburg (russischer Fuß)	0·304794	0·964227
Pisa	1·167252	3·692640
Prag (böhmisch. F.)	0·296398	0·937667
Rom (Bau-Cama)	2·233271	7·065026
St. Gallen	0·314688	0·995526
Stockholm (schwed. Fuß)	0·296838	0·939056
Stuttgart	0·286490	0·906321
Venedig	0·347735	1·100070
Warschau (Stopa, Fuß)	0·2880	0·911097
Weimar	0·281979	0.892049
Wiesbaden	0·287844	0·910603
Zürch	0·300025	0·949139

Einige andere bemerkenswerthe Längenmaße.

Name des Maßes	hat Wiener Fuß
Ale, die Elle in Dänemark	1·977
Arschine, „ „ Rußland	2·252
Aune, Elle in Frankr. u. d. Schweiz	
„ „ „ Frankreich vor 1812	2·325
„ „ „ „ nach 1812	3·784
„ „ „ Basel, große	3·727
„ „ „ „ kleine	1·721
„ „ „ Genf, große	3·758
„ „ „ „ kleine	3·616
Braça, Klafter in Portugal und	
Brasilien	6·896
Bracce, Fuß in Tirol	2·012
Braccio, Elle in Ancona	2·031
„ „ „ Bologna	2·037
„ „ „ Florenz u. Lucca	1·879
„ „ „ Mod. u. Parma	2·047
„ „ „ Pavia	1·768
„ „ „ Venedig	2·015
Braza, Klafter in Spanien	5·362
Calow, Zoll in Polen	0·076
Canna, Elle in Genua	7·909
„ „ „ Sardinien	7·346
„ „ „ Rom	7·067
„ „ „ Toscana	9·231
„ „ „ Neapel	6·672
„ „ „ Sizilien	6·684
„ „ „ Barcellona	5·001
Chain, Kette, Feldmaß in England	63·586
Alt-schottische Chain	71·703
Neu-schottische „	71·241
Cobido, Elle in Java	1·591
„ „ „ Bengalen	1·277
„ „ „ Arabien	1·870
„ „ „ China	1·126
Codo, Elle in Spanien	1·288
Cos, Meile in Ostindien	5783·8
Covado, Elle in Brasilien	2·056
„ „ „ Portugal	2·151
Covid, Elle in Calcutta u. Bombay	1·443
„ „ „ Canton	1·176
Dedon, Zoll in Spanien	0·057
Deral, Elle in Ostindien	1·753
Duim, Daum in den Niederlanden	0·032
Elle, in Aachen	2·107
„ „ Aarau	1·879
„ „ Amsterdam	2·180
„ „ Antwerpen	1·974
„ „ Augsburg, große	1·927
„ „ „ kleine	1·873
„ „ Baden (Großherzogth.)	1·895
„ „ Berlin, neue	2·107
„ „ „ alte	2·110
„ „ Bern	1·715
„ „ Breslau	1·819

Name des Maßes	hat Wiener Fuß
Elle, (Brabanter) in Brüssel	2·192
„ „ in Frankfurt a. M.	2·214
„ „ „ Hamburg	2·186
„ „ „ Leipzig	1·787
„ in Bremen	1·828
„ „ Cassel (Hessen)	1·800
„ „ Christiania (Norwegen)	1·977
„ „ Cöln, große	2·199
„ „ „ kleine	1.816
„ „ Crakau	2·044
„ „ Danzig	1·816
„ „ Dresden	1·791
„ „ Frankfurt a. M.	1·730
„ „ Hamburg	1·813
„ „ Hannover	1·844
„ „ Harlem	2·154
„ „ Innsbruck	2.543
„ „ Kiel (Dänemark)	1·819
„ „ Leipzig	1·787
„ „ Lemberg	1·876
„ „ Mailand alte	1·692
„ „ München und Baiern	2·635
„ „ Niederlande (Königreich)	3·163
„ „ Olmütz und Mähren	2·502
„ „ Prag und Böhmen	1·594
„ „ Schlesien (österreichisch)	1·832
„ „ Schottland, neue	2·955
„ „ „ alte	2·986
„ „ Schweden	1·879
„ „ Triest für Wolle	2·139
„ „ „ „ Seide	2·031
„ „ Warschau und Königreich	
Polen	1·822
„ „ Wien und Oesterreich	2·464
„ „ Würtemberg	1·942
„ türkische (Endese)	2·028
„ ostindische (Etto)	1·522
Faden, in Dänemark	5·950
„ „ England (Fathon)	5·786
„ „ Preußen, zur See	5·960
Faust, Pferdmaß in Oesterreich	0·332
Fuß, in Aachen	0·911
„ „ Altona	0·905
„ „ Amsterdam	0·823
„ „ Antwerpen	0·905
„ „ Baden (Großherzogth.)	0·949
„ „ Baiern	0.924
„ „ Basel	0·962
„ „ Bern	0·927
„ „ Böhmen	0·936
„ „ Brasilien	0·959
„ „ Brabant	0·902
„ „ Braunschweig	0·905
„ „ Bremen	0·914

Name des Maßes	hat Wiener Fuß	Name des Maßes	hat Wiener Fuß
Fuß, in Brüssel	0·921	**Meile,** Englische, neue	5090·0
" " Canton in China	1·069	" " Seemeile	5858·7
" " Cöln	0·908	" Französische	14062
" " Crakau	1.126	" " Seemeile	17576
" " Dänemark	0·993	" Geographische	23428
" " England	0·965	" Holländische	18500
" " Frankfurt a. M.	0·902	" Italienische	5858·7
" " Galizien	0·939	" Niederländische Seemeile	17576
" " Genf	1·028	" Oesterreichische Postmeile	24000
" " Haag	1·028	" Portugiesische	19528
" " Hamburg	0·905	" Preußische	24460
" " Hannover	0·924	" Römische	4656·7
" " Hessen-Cassel	0·908	" Russische (Werst)	3375·4
" " " Darmstadt	0·791	" Sächsische	28601
" " Lissabon	1·038	" Schwedische	33764
" " Lübeck	0·921	" Schweizerische	46424
" " Lüttich	0·908	" Spanische	13198
" " Mähren	0·936	" Türkische Seemeile	4099·9
" " Mailand	1·259	" " Berri	5305·1
" " Modena	2·006	**Palm,** in England	0 237
" " Neufchatel	0·927	" " Niederlanden	0·316
" " Padua	1·354	" " Hamburg	0·316
" " Portugal	1·038	" " Genua	0·791
" " Preußen	0·990	" " Neapel	0·832
" " Rheinländer	0·990	" " Rom	0·705
" " Rom	0·993	" " Spanien (Castilien)	0·671
" " Rußland	0·962	" " " Catalonien	0·576
" " Schlesien, österreichisch	0·914	**Perch** oder Pearch, Ruthe in	
" " " preußisch	0·990	England	16·7379
" " Schweden	0 766	**Perche,** in Frankreich zu 3 Toi-	
" " Spanien	0·892	sen	18·497
" " Tirol	0 993	**Pik,** Elle in Aleppo	2·139
" " Turin	1·022	" " " Aegypten	2·151
" " Utrecht	0·864	" " " Algier	1·968
" " Venedig	0·911	" " " Constantinopel	2·113
" " Würtemberg	0·256	" " " Smyrna	2·167
" " Zürch	0·952	" " " Tripolis	1·746
Ges, Elle in Bengalen	2·673	" " " Tunis	1·496
Gos, Meile in Ostindien	31·951	**Ruthe,** in Aachen zu 16 Fuß	14·274
Kassabeth, Klafter in Aegypten	11·548	" " Amsterdam zu 13 Fuß	11·645
Lachter, Berglachter in Däne-		" " Basel zu 16 Fuß	15·387
mark	6·362	" " Bern zu 10 Fuß	9·275
" " " Freiberg	6·143	" " Braunschweig zu 16 F.	14·441
" " " Idria	6·191	" " Bremen zu 16 Fuß	14·634
" " " Böhmen	6·068	" " Brüssel zu 20 Fuß	14·723
" " " Preußen	6·618	" " Cassel zu 14 Fuß	12·736
" " " Sachsen	6·273	" " Dänemark zu 10 Fuß	9·927
" " " Schweden	5·634	" " Hamburg zu 14 Fuß	12·685
" " " Ungarn		" " Hannover zu 16 Fuß	14·777
(Schemnitz)	6·403	" " Preußen, rheinl. Ruthe	11·914
Lieue, Meile in Frankreich, alte	14062	" " Sachsen	14·274
" " " " neue	31635	" " Schweden zu 16 Fuß	15·020
Meile, Arabische	6204	" " Warschau	13·666
" Chinesische	1819	" " Würtemberg zu 10 Fuß	9·063
" Deutsche	14058	" " Zürch zu 10 Fuß	9·519
" Englische, alte	7383·5	**Saschen,** Klafter in Rußland	6·781

Name des Maßes	hat Wiener Fuß
Staab, in Frankfurt a. M. . .	3·739
„ „ der Schweiz . . .	3·758
„ „ Tirol	2·847
Toise, Klafter in Frankreich, alte	6·166
„ „ „ „ neue	6·327
Vara, Elle in Brasilien . . .	3·436
„ „ „ Castilien . . .	2·679
„ „ „ Mexico . . .	2 891
„ „ „ Portugal . . .	3·458
Werschock, in Rußland . . .	0·142
Werst, Meile in Rußland . .	3375·5
Yard, Elle in England . . .	2·891

Die Zahlen dieser Tabelle werden multiplizirt durch um zu erhalten

plizirt durch	um zu erhalten
0·31609	Meter
0·97312	Pariser Fuß
1·03712	Londoner Fuß
1·00718	Rheinl. Fuß
1·00736	Preußische Fuß
0·00004268	Deutsche geogr. Meilen.

Vergleichung einiger Flächenmaße.

(Zur Seite 9.)

Name des Maßes	hat Wr. □ Klftr.
Acker, in Erfurt, zu 300 □ Ruthen	731·2
„ „ Leipzig	1533·5
Acre, alt Schottischer	1435
„ neu „	1311
„ in England, Imperial-Standart . .	1123·7
Are, in Frankreich 100 □ Meter	27·7998
Arpent, Feldmaß in Frankreich, 900 □ Toisen	949·8
„ „ der Niederlande	1832·0
Biolca, Feldmaß in Bologna .	784·2
Buinder, in den Niederlanden .	27·79
Campo, in Padua, zu 840 Tavole	1542·0
„ „ Venedig zu 640 „	773·0
„ „ Verona zu 24 Vanezze	835·5
Catena, Feldmaß in Neapel . .	1·33
Centiare, ein □ Meter . . .	0·278
Cotta, in Ostindien und Bengalen	18·88
Decare, gleich 10 Ares . . .	277·998
Deciare, gleich $^1/_{10}$ Are . .	2·78
Dessetine, Feldmaß in Rußland	1795·19
Hectare, 100 Ares	2779·98
Joch, hat 3 Metzen oder 2 böhmische Strich u. 5758 Centiares	1600·0
Kiliare, zu 10 Hectare . . .	27799·8
Milliare, $^1/_{1000}$ Are	0·0270
Morgen, in Aachen	848·2
„ „ Amsterdam . . .	2255·5
„ „ Baden, (Großhztk.)	997·8
„ „ Berlin neuer . .	709·5
„ „ „ alter . .	1676·5
„ „ Braunschweig . .	695·0
„ „ Bremen	714 0
„ „ Danzig	1544·0
„ „ Darmstadt . . .	693·7
„ „ Genf	1438·9
„ „ Hamburg . . .	2680·0
„ „ Hannover . . .	721·4
„ „ Holland	2619·0
„ „ Mecklenburg . . .	1806·0
Morgen, in Nürnberg . . .	1314·0
„ „ Oldenburg . . .	3474·0
„ „ Polen	1571·7
„ „ Rheinländischen .	472·5
„ „ Sachsen	1700·0
„ „ Stralsund . . .	1806·0
„ „ Trier	974·5
„ „ Würtemberg . .	875·6
„ in Würzburg (Feldmorgen)	985·5
Myriare, gleich 10000 Are, s. Are	
Perche, in Frankreich	9·498
Pertika, in Parma	3·0
„ „ Florenz	2·44
„ „ Piacenza	2·40
„ „ Venedig	1·33
Pflug, Ackermaß in Schlesw.-H.	49200
Saccato, „ „ Toscana .	1035·0
Scheffel, in Hamburg . . .	1167·7
Starel, od. Starello in Sardinien	527·0
Stochia, in Tirol	2483·0
Tavola, in Italien, in Bergamo	7·8
„ „ „ „ Padua .	7·2
„ „ „ „ Piemont	10·5
„ „ „ „ Verona .	1·1
Tonne, in Kopenhagen . . .	3072·0
Tornatura, im Kirchenstaate .	46·0
Tripplhufe, in Pomm. u. Meckl.	81917·5
Vanezza, in Verona	34·28
Versara, in Neapel	8·0
Vorling, in Hannover . . .	360·7
Wloka in Polen	47150

Die Zahlen dieser Tabelle werden multiplizirt durch um zu erhalten

plizirt durch	um zu erhalten
36	Wiener □ Fuß
34·0895	Pariser „
38·7208	Londoner „
4·30231	Londoner □ Yards
0·000625	Wiener Joch
3·597148	□ Meter.

II. Tabelle. (Zur Seite 9.)

Vergleichung und Umwandlung der wichtigsten Flächenmaße.

Vergleichung einiger Quadratfuße mit dem Quadrat=Meter und unter einander.

Q. Meter	Pariser Q. F.	England, Rußland Q. F.	Preußen, Dänemark rhn. Q. F.	Baiern Q. F.	Hannover Q. F.	Sachsen Q. F.	Braun=schweig Q. F.	H. Cassel Nassau Q. F.	Würtemb. Hamburg Q. F.	Baden, Schweiz Q. F.	Wiener Q. F.	Frankfurt Q. F.	Hessen Darmstadt Q. F.
1	9·476817	10·76430	10·15187	11·73960	11·72067	12·46936	12·28023	12·08156	12·18372	11·11111	10·00739	12·35479	16·00000
0·105521	1	1·135856	1·071232	1·238770	1·236773	1·315775	1·295818	1·274854	1·285635	1·172452	1·055987	1·302770	1·688330
0·092900	0·880393	1	0·943105	1·090605	1·088847	1·158399	1·140829	1·22373	1·131864	1·032219	0·929684	1·146950	1·486394
0·098504	0·933505	1·060327	1	1·156398	1·154534	1·228282	1·209652	1·190083	1·200146	1·094489	0·985768	1·216142	1·576064
0·085182	0·807252	0·916922	0·864754	1	0·998388	1·062162	1·046052	1·029129	1·037832	0·946464	0·852447	1·051661	1·362906
0·085319	0·808556	0·918403	0·866150	1·001615	1	1·063877	1·047741	1·030791	1·039507	0·947993	0·853824	1·053361	1·365108
0·080197	0·760008	0·863260	0·814145	0·941476	0·939958	1	0·984833	0·968900	0·977093	0·891073	0·802559	0·995046	1·283145
0·081432	0·771713	0·876555	0·826683	0·955975	0·954434	1·015401	1	0·983822	0·992141	0·904797	0·814919	1·005364	1·302907
0·082772	0·784403	0·890969	0·840278	0·971695	0·970129	1·032098	1·016444	1	1·008456	0·919675	0·828319	1·021898	1·324331
0·082077	0·777826	0·883498	0·833232	0·963547	0·961994	1·023444	1·007921	0·991615	1	0·911963	0·821374	1·013328	1·313228
0·090000	0·852914	0·968787	0·913668	1·056564	1·054861	1·122242	1·105221	1·08734	1·096535	1	0·900665	1,111142	1·440000
0·099926	0·946982	1·075635	1·014437	1·173093	1·170202	1·246014	1·227116	1·207264	1·217472	0·110290	1	1·233659	1·598818
0·080997	0·767595	0·871878	0·822272	0·950874	0·949341	1·009982	0·994663	0·978572	0·976847	0·899968	0·810571	1	1·295043
0·062500	0·592301	0·672769	0·634492	0·733725	0·732542	0·779335	0·767514	0·755098	0·761482	0·694445	0·625461	0·772175	1

Name des Ortes und Maßes	Enthält Quadrat=Centimet.	Enthält Vergleichende Logarithm. *)
Bairische □ Klafter	30665·1	4·4866493
" " Fuß …	351·818	2·9303468
" " Zoll ..	5·91540	0·7719843
" " Linien .	0·004108	0·6136218—2
Dänische □ Klafter	35499·4	4·5498529
" " Fuß …	984·816	2·9935504
" " Zoll ..	6·84208	0·8351879
" " Linien	0·047514	0·6768254—2
Englische □ Yard ..	8360·97	3·9222567
" " Fuß ..	928·997	2·9680142
" " Zoll ..	6·45136	0·8096517
" " Linien	0·044801	0·6512892
Französische □ Toise	37987·4	4·5796399
" " Fuß ·	1055·20	3·0233374
" " Zoll.	7·32748	0·8649549
" " Linien	0·050885	0·7065924—2
Oesterreich □ Klafter	35971·4	4·5559579
" " Fuß ..	999·207	2·9996554
" " Zoll .	6·93894	0·8412929
" " Linien	0·04819	0·6829304—2
Preußische od. rhein=länd. □ Klafter	35469·5	4·5498565
" " Fuß ..	985·267	2·9996554
" " Zoll .	6·84213	0·8351915
" " Linien	0·047515	0·6768290—2
Russischer □ Faden ·	45559·1	4·6585784
Sächsische □ Klafter	28761·9	4·4588171
" " Fuß ..	798·940	2·9025146
" " Zoll ..	5·54820	0·7741521
" " Linien	0·038529	0·5857896—2
Schwed. □ Klafter	31720·5	4·5013401
" " Fuß ..	881·125	2·9450378
" " Zoll ..	6·11893	0·7866753
" " Linien .	0.042492	0·6283129—2

*) Dieser vergleichende Logarithmus wird zum Logarithmus des Maßes in der ersten Spalte addirt, um den Logarithmus der Quadrat=Centimeter, oder vom Logarithmus der Quadrat=Centimeter abgezogen, um den Logarithmus des Maßes der ersten Spalte zu erhalten.

Verwandlung der Quadrat=Zolle und Quadrat=Linien in Quadrat=Fuße.

□ Z.	hat □ Fuß	□ L.	hat □ Fuß
1	0·0690444	1	0·0000482
2	0·0138888	2	0·0000964
3	0·0208333	3	0·0001447
4	0·0277777	4	0·0001929
5	0 0347222	5	0·0002411
6	0·0416666	6	0·0002893
7	0·0486111	7	0·0003376
8	0·0555555	8	0·0003858
9	0·0625000	9	0·0004340
10	0·0694444	10	0·0004822

III. Tabelle.

A. Körpermaße für trockene Gegenstände.

(Zur Seite 9.)

Name	hat Wr. Achtel
Achtel, in Oesterreich	1·000
„ Baiern	0·607
„ Würtemberg	0·361
Achterli, in Bern	0·215
Almuda, in Majorka u. Minorka	0·260
„ Portugal	2·212
Alquiera, in Madera	1·431
„ Brasilien	1·801
„ Portugal	1·757
Bacino, in Corsica	1·065
Becher, in Oesterreich	0·0625
„ Braunschweig	0·254
„ Carlsruhe	0·020
Boisseau, in Frankreich, alter	1·691
„ „ neuer	1·626
Bushel, in England, Imperial-Standart-Bushel	4·728
„ Winchester-Bushel	4·683
Butte, in Hessen	81·310
Caffis, in Valenzia	32·018
„ Algier	41·533
„ Tripolis	42·464
„ Tunis	46·534
Cahiz, in Valenzia, in Spanien	32·018
„ Cadix und Madrid	7·435
Cambetta, in Genua	0·157
Carga, in Barcellona	22·090
„ Insel Candia	19·801
Cavot, in Niederland	2·895
Celemine, (Almuda) in Bilbao	0·651
„ „ Castilien } „ „ Cadix } „ „ Madrid }	0·052
„ „ Valenzia	0·543
Centilitre, in Frankreich	0·001
Centistère, in Frankreich	1·301
Chaldron, in England	170·003
Comb, in England	18·913
Copello, in Alessandria } „ Turin, Sardinien }	0·312
Copet, in Neufchatel	0·083
„ Waadtland	0·015
Coppa, im Kirchenstaate	4·423
Corba, im Kirchenstaate	9·599
Corbula, in Sardinien	3·187
Cortane, in Catalonien	0·738
Coupe, in Freiburg (Schweiz)	0·520
„ Genf „	10·261
„ Savoyen	0·369
Cupo oder Koppa, im Kirchenstaate	0·299

Name	hat Wr. Achtel
Cwiercec od. Cwierz, in Warschau	4·163
„ Krakau	3·903
Dan, in China	31·114
Dekalitre, in Frankreich	1·301
Dekastère „	1300·825
Decilitre, „	0·013
Decina, in Rom	0·543
Decistère, in Frankreich	13·008
Dimerli, in der Wallachei	3·226
Dreißiger, in Baiern	0·208
Eklein, in Würtemberg	0·018
Emine oder Hemine, in Frankreich	10·147
„ Neufchatel	2·061
„ Sardinien	2·992
„ Waadtland	0·176
Faden, (als Holzmaß) in Bremen	226·497
„ Dänemark	881·661
„ Danzig und Königsberg	220·773
„ Mecklenburg	314·052
„ Stettin	585·432
Fanega, in Brasilien	7·193
„ Madera	5·822
„ Lissabon	7·025
„ Bilbao	7·806
„ Corunna	8·261
„ Galizien (Spanien)	9·237
„ Castilien	0·620
„ Malaga	7·879
„ Asturien	9·902
Faß, Getreidemaß, in Aachen	3·209
„ „ Hamburg	0·863
„ „ Lübeck	1·084
Ferrado, in Spanien	2·066
Fichelin, in der Schweiz	4·377
Fierdigkar, in Dänemark	0·563
Fortin, in der Türkei	18·252
Fuder oder Fuhre, in Hannover	291·416
„ „ Osnabrück	268·910
Gallon, in England	0·591
Garcy oder Garnitze, in Krakau	0·478
„ „ Warschau	0·520
Garnez, in Rußland	0·425
Gescheid, in Hessen	0·260
„ Frankfurt a. M.	0·220
Halbe, Getreidemaß, in Ungarn	0·109
Halfter, niederl. Hafermaß	6·765
„ „ Weizenmaß	6·713
Haufen, in Berlin	195·12
Heitscheff, in Schleswig } „ Dänemark }	14·311
Hectolitre, in Frankreich	13·01

Name	hat Wr. Achtel
Himt oder Himten, in Braunschweig	4·033
„ „ „ Hannover	4·042
Holzstoß, in Breslau	2026·5
Imbuto, in Sardinien	0·398
Immel, od. Immeli, in Heidelberg	0·840
„ „ Solothurn	0·429
Immi, in Bern	0·429
„ Luzern u. Unterwalden	0·453
Kanne, Getreidemaß, in Cleve	0·146
„ „ Oldenburg	0·173
„ „ Schweden	0·338
Kappar, in Schweden	0·592
Keel, Steinkohlenmaß in England	1360·065
Kila oder Kiloz, in Slavonien	24·263
„ „ Wallachei	51·154
Kilo od. Kiloz, in Alexandrien	22·334
„ „ Constantinopel	4·564
Kilolitre, in Frankreich	130·096
Köpfchen, in Fulda	0·182
Kop od. Koppe, in Niederland	0·130
„ „ Aachen	0·801
„ „ Amsterdam	0·113
Koppo, in Mailand	0·013
Korb, in Osnabrück	1·864
Kornlast, in Dänemark	398·156
Kornstar, in Tirol	3·974
Korzec od. Korschez, in Krakau	15·612
„ „ Warschau	16·652
„ „ Galizien	15·872
Kubik-Toise, in Frankreich	963·116
„ Fuß „	4·459
„ Zoll „	0·003
„ Elle in den Niederlanden	130·082
„ Palm „ „	0·130
Kübel, in Siebenbürgen	12·789
„ Sachsen, Kohlenmaß	41·891
Küchenmaß, in Leipzig, im Mehlhandel	0·367
Küpfli, in Basel	0·520
Kulmet od. Kullmit, in Reval	1·707
„ „ Riga	1·412
Kumpf, in Heidelberg	0·904
„ Hessen	1·041
Kwart, in Krakau	0·124
„ Warschau	0·130
Kwaterk, in Polen	0·031
Last, Getreidemaß, in Amsterdam	390·756
„ Antwerpen	373·871
„ Bremen	369·734
„ Cöln	421·800
„ Crakau	468·250
„ Danzig, Westpreußen	401·738
„ Hamburg	410·824
„ Hannover	401·067
„ Königsberg u. Ostpreußen	388·859

Name	hat Wr. Achtel
Last, Getreidemaß, in Lübeck	416·764
„ Niederlande	390·247
„ Polen	499·050
„ Preußen	514·764
Litre, in Frankreich	0·130
Load od. Last, in England	378·2552
„ „ Winchester Load	366·352
„ „ Schottischer Load	371·426
Lof, in Esthland	5·125
„ Liefland	8·456
Maate, in Holland	7·979
Maatje, in Niederland	0·013
Mäß, Getreidemaß, in Bern	1·717
„ „ Freiburg	1·037
„ „ Solothurn	1·756
Mäßchen, Getreidemaß, in Hessen	0·325
„ Homburg	0·406
„ Darmstadt	0·065
„ Frankfurt a. M.	0·057
„ Mainz	0·055
„ Berlin	1·112
„ Sachsen	0·217
Mäßli, Getreidemaß, in Aargau	0·182
„ „ Bern	0·859
„ „ Zug	0·182
Maßel, in Böhmen	0·761
Malter, in Aachen	19·254
„ Altenburg	36·553
„ Berlin	85·714
„ Breslau	109·130
„ Carlsruhe	19.514
„ Cöln	21·090
„ Darmstadt u. Hessen	16·652
„ Frankfurt a. M.	14·049
„ Gotha	22·766
„ Hannover	24·253
„ Leipzig u. Sachsen	167·551
„ Mainz	14·213
„ Nürnberg	21·739
„ Zürch	43·028
Maß, Getreidemaß, in Aschaffenburg	2·273
„ „ Baiern	0·139
„ „ Fulda	2·897
„ „ Nürnberg	0·173
Maßel, Getreidemaß, in Baiern	0·603
„ Böhmen	0·75
„ Wien und Oesterreich	0·25
„ Wien kleines Maßl	0·125
Medio, in Valenzia	0·271
Meeß, oder Mäß, in Regensburg	34·111
Mequia, in Brasilien und Portugal	0·111
Meste, oder Metze, Frankf. a M.	1·756
Meßle, in Baden	0·195
Meßli, in Zürch	0·168

Name	hat Wr. Achtel
Matadella, in Toscana	0·396
Metze, Getreidemaß, in Altenburg	1·142
„ Ansbach	2·746
„ Berlin und Preußen	0·446
„ Cassel	1·301
„ Danzig wie Berlin.	
„ Dresden	0·867
„ Erfurt, wie Berlin.	
„ Ostpreußen	0·429
„ „ alte	0·403
„ Nürnberg	2·620
„ Rostock	0·316
„ Ulm	1·242
„ Würzburg	2·810
Metzen, Getreidemaß, in Baiern	4·821
„ Augsburg	3·338
„ Berlin	0·442
„ Breslau	0·569
„ Frankfurt a. M.	1·756
„ Nürnberg	2·625
„ Olmütz, wie Wien.	
„ Pesth	10·407
„ Preßburg	6·934
„ Wien	8·000
Meyo oder Mejo, in Brasilien und Portugal	0·059
Mezzetta, in Toscana	0·195
Millilitre, in Frankreich	0·00013
Millistère, „	0·130
Mina, in Genua	15·185
„ Piemont	2·493
„ Lombardei	1·301
„ Toscana	1·583
Mine, in Frankreich	10·148
Minello, in Verona	4·798
Mirze, in der Wallachei	2·554
Modillo, in Sizilien	0·376
Moggio, in Corfu	0·264
„ Kirchenstaat	78·578
„ Mailand	19·005
„ Mantua	36·216
Mondino, in Genua	121·484
Mojo od. Moya, in Lissabon	105·335
„ „ Brasilien	107·893
Mudd od. Mudde, in Niederland	13·008
Muid, Getreidemaß, in Frankreich	243·541
„ „ Neufchatel	47·572
Müdde, in Basel	2·212
Mutt od. Muid, in Appenzell	11·874
„ „ Bern	20·605
„ „ Luzern	18·069
„ „ Schafhausen	13·942
„ „ Zug	11·662
„ „ Zürch	10·762
Müttle, in Ulm	7·520
Muth, in Oesterreich	240·0
Myrialitre, in Frankreich	1300·72
Nössel od. Oeßel, in Altenburg	0·047
„ „ Eisenach	0·052
„ „ Gotha	0·033
„ „ Weimar	0·039
„ „ Braunschweig	0·059
„ „ Hannover	0·065
„ „ Dresden	0·056
Occa, in der Wallachei	0·203
Osmin, in Rußland	13·610
Ottava, in Brasilien	0·898
Pajock, in Rußland	6·805
Peck, in England	1·182
Pint, in England	0·074
Pinta, in der Lombardei	0·130
Poisson, in Frankreich	0·016
Polonico, in Triest	3·209
Pottle, Getreidemaß, in England	0·296
Quart, Getreidemaß, in Lemberg	0·124
„ „ England	0·148
Quartaro, in Mailand	0·592
Quarter, in England	37·826
Quartera, in Barcellona	8·889
Quaterone, in Bologna	1·200
„ Valenzia	0·135
Quartier, in Schweden	0·043
Quartillo, in Spanien	0·013
Quarto, in Genua	1·898
„ Sizilien	0·699
„ Toscana	0·791
Quartuccio, in Toskana	0·098
„ Rom	0·433
Restiere, in Sardinien	19·110
Rimpel, in Ungarn	0·026
Rubbio, in Ancona	35·516
„ Rom	34·767
Sacco, in Sardinien	14·955
„ Toscana	9·237
„ Venedig	16·583
Sack, in Amsterdam	10·854
„ Brüssel	15·156
„ Harlem	9·978
„ Basel	17·758
„ Rußland	31·613
Sulma, in Barcellona	35·373
„ Malta	34·649
„ Sizilien	36·011
Schaff, in Augsburg	26·705
„ Ingolstadt	79·641
„ Landshut	78·448
„ Passau	248·962
„ Regensburg	136·471
Scheepel, in den Niederlanden	3·618
Scheffel oder Schepel, in Altona	2·261

Name	hat Wr. Achtel
Scheffel, od. Schepel, in Baiern	28·925
„ Berlin und Preußen .	7·144
„ Braunschweig . . .	40·362
„ Bremen	9 245
„ Breslau	9·094
„ Copenhagen, Dänem.	2·261
„ Danzig	6 695
„ Dresden	13 879
„ Erfurt	7 748
„ Hamburg	13·694
„ Königsberg	6 481
„ Leipzig, wie Dresden	
„ Lübeck	2·949
„ München	28 907
„ Niederlande	1·301
„ Rostock	5·054
„ Schlesien, österreich. .	9 936
„ Stuttgart und Würtemberg	23 051
Schip, in Schleswig	2·342
Schrott od. Schoot, Frankf. a. M.	0·014
Scorzo, in Rom	2·368
Seitel, in Böhmen	0·062
Sester od. Sister, in Baden . .	1·951
„ Basel	4·439
„ Frankfurt a. M. . . .	0·878
„ Trier	0·868
Setier, in Frankreich	20·295
„ Straßburg . . .	2·399
Simmer od. Simri, in Darmstadt	4·163
„ Frankfurt a. M. . .	3 730
„ Mainz	3·553
„ Nürnberg	41·956
„ Würtemberg . . .	2·849
Soma, in Mailand	13 010
Stajo od. Staro, in Corsica . .	12 821
„ Lucca	3·187
„ Toscana	3 079
„ Turin	4·985
„ Rom, Parma, Triest s. Staro	
Stara, im Canton Tessin . . .	2·588
Staro, in Bologna	4 799
„ Mailand	2 374
„ Parma	6·687
„ Tirol	3 978
„ Triest	9 639
Startin, in Steiermark . . .	73·635
Stère, in Frankreich	130·072
Stoop, in Schweden	0 169
Strich, in Böhmen	12·177
Strike, in England	9 956
Tomolo, in Neapel	6·657
„ Sizilien	2 251
Tonne, Getreidemaß, in Altona	18·083
„ Amsterdam	17·563
„ Dänemark	18·083

Name	hat Wr. Achtel
Tonne, Getreidemaß, in Lübeck	19·944
„ Esthland	15·377
„ Liefland	16·939
„ Schweden	19·046
Tonnelada, in Brasilien und Portugal	117·503
Tschetwerik, in Rußland . .	3·403
Tschetwerka, „ . .	0·851
Tschetwert, „ . .	27·221
Tun oder Tonne in England .	189·128
Varenne, in Savoyen . . .	2·914
Veissel, „ . . .	13·127
Vierdewat, in Amsterdam . .	0·925
Vierfaß, in Braunschweig . .	1·008
Vierling, in St. Gallen . .	0 618
„ Schafhausen . .	0·738
„ Würtemberg . .	0·722
Viernsel, in Baden	3·617
„ Baiern	3·253
Viertel, in Altona	0·566
„ Antwerpen . . .	9 975
„ Baiern	2·410
„ Bremen	2·316
„ Cassel	20·842
„ Cöln	0·585
„ Dänemark	4·521
„ Danzig	1·786
„ Dresden u. Sachsen .	3·480
„ Erfurt	23·244
„ Gratz	10·592
„ Prag und Böhmen .	3·044
„ Weimar	2·500
„ Wien	2·000
„ Würzburg . . .	0·703
„ Zürich	2·690
Vierteli, in Bern	0·057
Viertelspan, in Schweden . .	2·381
Winspel od. Wispel, in Braunsch.	161·541
„ „ Hamburg	136 939
„ „ Hannover	194·234
„ „ Lüneburg	161·879
„ „ Preußen .	171·588
„ „ Sachsen .	335·428
Zack, in den Niederlanden . .	13·008
Zuber, in Baden	195 145

Die Zahlen dieser Tafel werden multiplizirt

durch	um zu erhalten
0·12500	Wiener Metzen
7·68860	Litres
0 007689	Kubik-Meter
1 69198	Londoner Gallons
2·23779	Preußische Metzen
0·07302	Hamburger Scheffel
5·43276	Wiener Maß (f. Getränk)
0·24339	Wiener Kubik-Fuß
0·22429	Pariser Kubik-Fuß.

B. Körpermaße für flüssige Gegenstände.

(Zur Seite 9.)

Name	hat Wr. Maß
Achter, in Oesterreich	1·000
Acumbre, in Spanien	1·237
Ahm od. Ohm, in Altona, Hamburg und Rostock	102·380
„ „ Amsterdam	109·698
„ „ Braunschweig	103·964
„ „ Bremen	100·931
„ „ Copenhagen	105·880
„ „ Hannover	109·946
„ „ Leipzig	107·259
„ „ Rußland	104·214
„ „ Schweden	111·006
Aimer, in Würtemberg	207·872
Alma, in Constantinopel	3·703
Amphora, in Venedig	448·267
Anker, in Amsterdam	27·425
„ Dänemark	26·444
„ Hamburg	25·595
„ Hannover	27·462
„ Preußen	24·273
„ Rußland	26·053
„ Schweden	27·752
Arroba, major in Spanien, Castilien u. Madrid	11·136
„ menor	8·661
Barillo, in Genua	52·427
„ Neapel	30·827
„ Rom	32·171
„ Toscana	29·413
„ für Oel, in Genua	45·725
„ „ Sardinien	23·757
„ „ Toscana	23·531
Barrel, Weinmaß	101·143
„ Oel-Barrel	102·748
„ Bier-Barrel	115·593
Beczka, in Warschau	70·705
„ Crakau	96·512
Boccale, in Sardinien	0·566
„ Ancona	1·244
„ Bologna	0·848
„ Mailand	0·566
„ Toscana	0·735
„ Triest	1·357
„ Venedig	0·877
Both, in Danzig	291·147
„ Hamburg	358·190
„ Malaga	333·726
„ Riga	307·650
Botta, in Rom	289·606
„ Sardinien	354·053
„ Venedig	560·687
„ Spanien	333·726
Bozza, in Venedig	2·333
Brau, in Hannover	122919·240
Brenta, in Mailand	53·382
„ Rom	72·967
„ Sardinien	39·828
„ Bern	28·282
Canado, in Spanien	23·637
Canhada, in Portugal	0·990
„ Brasilien	0·983
Carro, in Sardinien	398·491
„ Neapel	739·478
Centilitre, in Frankreich	0·007
Char, in Genf	457·692
„ Lausanne	608·060
Conzo, in Venedig	56·012
Coppo, in Lucca, kleiner	70·528
„ „ großer	86·613
Corba, im Kirchenstaate	52·145
Dekalitre, in Frankreich	7·067
Dekastère, „	7067·07
Decilitre, „	0·071
Decistère, „	70·67
Eimer, in Augsburg	41·907
„ Bamberg	69·291
„ München	45·350
„ Nürnberg	48·185
„ Regensburg	80·144
„ Würzburg	53·028
„ Altona und Hamburg	20·462
„ Hannover	43·936
„ Rostock	20·462
„ Prag und Böhmen	43·130
„ Preßburg	37·686
„ Wien	40·000
„ Berlin	48·503
„ Erfurt	50·115
„ Dresden	41·518
„ Leipzig	53·580
„ Schweden	55·489
Faß, in Rußland	347·378
„ Braunschweig	70·104
„ Dresden	277·727
„ Leipzig	255·102
„ Lübeck	107·471
„ Dänemark	634·574
„ Hamburg	644·331
„ Wien	400·000
Fuder od. Fahrt, in Baden	995·839
„ Braunschweig	623·169
„ Cassel, Mainz u. Worms	675·229
„ Dänemark	634·574
„ Danzig	582·288
„ Erfurt	601·201
„ Frankfurt a. M.	607·777
„ Hamburg	613·681
„ Hannover	659·066

Name	hat Wr. Maß	Name	hat Wr. Maß
Fuder od. Fahrt, in Leipzig	643·058	**Maß,** in Tirol	0·573
" Lübeck	613·681	" Weimar	0·643
" Preußen	582·295	" Wien	1·000
" Schweden	665·804	" Würzburg	0·735
" Wien	1280·000	" Zürch, Lautermaß	1·287
" Würtemberg	1213·921	* " Schenkmaß	1·160
Gallon, in England	3·211	**Mezzarola,** in Genua	104·431
Garnice, in Krakau	2·835	**Mezzelta,** in Toscana	0·382
" Rußland	0·419	**Migliajo,** in Venedig	430·874
" Warschau	2·828	" Verona	412·208
Gebräu, in Dresden	6666·030	**Millerole,** in Marseille	42·189
" Leipzig	4082·272	**Millilitre,** in Frankreich	0·00071
Glas, in London	0·106	**Millistère,** "	0·707
Halbe, in Wien	0·500	**Mingel,** in Amsterdam	0·848
Hectolitre, in Frankreich	70·66	" Bremen	0·141
Hellaichmaß	1·301	**Miro,** in Venedig	10·775
Imi, in Würtemberg	12·973	" Verona	10·514
Kanne, in Aachen	0·749	**Misjes,** in Niederland	0·106
" Dänemark	1·343	**Nössel,** in Braunschweig	0·318
" Dresden	0·658	" Hannover	0·354
" Hamburg	1·273	" Sachsen	0·318
" Hannover	1·386	" Leipzig	0·424
" Leipzig	0·848	" Altona, Hamburg und Lübeck	0·318
" Lübeck	1·273	**Ohm** od. Ahm, in Aachen	97·891
" Niederland	0·707	" " Amsterdam	109·698
" Rostock	0·636	" " Antwerpen	97·021
" Sachsen	1·202	" " Baden	106·057
" Schweden	1·697	" " Cassel	112·562
" Wien	1·000	" " Dänemark	105·703
Kilolitre, in Frankreich	706·707	" " Erfurt	100·224
Kruschka, in Rußland, alte	1·086	" " Frankf. a. M.	101·299
" " neue	0·868	" " Hamburg	102·288
Kufe od. Kuppa, in Berlin	323·474	" " Hannover	109·854
" " Leipzig	510·204	" " Leipzig	107·153
Kwart, in Krakau	0·672	" " Lübeck	102·288
Last, in Rußland	429·474	" " Preußen	92·800
Litre, in Frankreich	0·707	" " Rostock	100·895
Maatje, in Niederland	0·071	" " Schweden	110·971
Maß, in Aarau	1·018	**Ort,** in Oldenburg	0·262
" Ansbach	0·955	" Osnabrück	0·035
" Augsburg	1·011	**Osmuschka,** in Rußland, alte	1·086
" Baden	1·061	" " neue	0·868
" Basel, alte	1·082	**Oxhoft,** in Amsterdam	164·547
" " neue	0·728	" Berlin und Preußen	145·651
" Baiern	0·436	" Braunschweig	155·762
" Cassel	1·379	" Bremen	151·308
" Cöln	0·940	" Danzig	145·651
" Erfurt	0·594	" Dresden	124·970
" Frankfurt a. M., altes	1·266	" Hamburg	161·065
" " neues	1·124	" Hannover	235·446
" Gotha	0·601	" Leipzig	142·965
" Mähren	0·756	" Rostock, Mecklenburg	153·429
" Mainz	1·329	" Rußland	156·320
" Nürnberg, Schenkmaß	0·764	" Schweden	166·438
" " Visirmaß	0·813	" Warschau	168·807
" Stuttgart	1·294		

Name	hat Wr. Maß
Pinta od. Pinte, in Amsterdam	0·429
" " Bern	1·181
" " Böhmen	1·351
" " Brescia	0·969
" " Genua	0·530
" Lombardie	0·707
" " Frankr., neue	0·707
" " " alte	0·872
Pipa oder Pipe, in Brasilien, Portugal	307·565
" Danzig	289·889
" Hamburg	247·466
" England . 120 Gallonen	
" Rußland	312·641
" Castilien und Spanien	300·495
" Catalonien	349·634
Pott od. Pot, in Dänemark	0·683
" " Genf	0·785
" " Neufchatel	1·343
Pottle, in England, 1/2 Gallon.	
Quart, in Berlin	0·792
" Bremen	0·566
" Lemberg	0·672
" Schlesien	0·496
" Frankreich	1·346
Quartaro, in Mailand	4·207
" Sizilien	7·707
Quartier, in Braunschweig	0·650
" Sachsen	0·085
" Hannover	0·686
" Hamburg	0·566
" Rostock	0·318
Quartuccio, in Sardinien	0·233
" Venedig	0·587
" Sizilien	5·161
Queue, in der Bourgogne	290·596
" Champagne	254·538
Salma, in Neapel, große	129·884
" " kleine	113·905
" Sizilien	61·937
Saum, in Basel	96·420
" Bern	118·077
" Luzern	122·743
" Schafhausen	118·854
" Zürch	116·012
Schoppen, in Basel	0·233
" Cassel	0·382
" Darmstadt	0·354
" Frankfurt a. M.	0·311
Seitel, in Augsburg	0·495
" Böhmen	0·339
" Wien, gewöhnliches	0·250
" " großes	0·375
" Ungarn	0·283
Stère, in Frankreich	706·707
Stof oder Stoof, in Westpreußen	0·990

Name	hat Wr. Maß
Stof oder Stoof, in Ostpreußen	1·004
" " Esthland u. Liefland	0·848
Stoop oder Stoov, in Niederland	1·714
Stübchen, in Altona, wie Hamburg.	
" Braunschweig	2·595
" Bremen	2·241
" Dänemark	2·651
" Danzig	3·026
" Sachsen	2·404
" Hamburg	2·545
" Hannover	2·758
" Lübeck	2·545
Stück oder Stückfaß, in Dänemark	793·214
" Frankfurt a. M.	816·285
" Leipzig	207·589
" Nürnberg	722·778
Tonne, in Aachen	83·255
" Altona	61·372
" Amsterdam	110·773
" Berlin	80·865
" Bremen	109.875
" Dänemark	92·800
" Danzig	80·865
" Dresden	69·432
" Hamburg	122·743
" Hannover	71·412
" Leipzig	63·776
" Riga	92·057
Vat, in Niederland	70·671
Viertel, in Altona	2·545
" Amsterdam	4·497
" Basel	4·030
" Dresden	138·864
" Frankfurt a. M.	5·070
" Hamburg	5·112
" Leipzig	127·579
" Lübeck	5·112
" Regensburg	2·510
" Riga	5·126
" Rostock	5·112
" Zürch	18·489
Zuber, in Bündten	75·300

Die Zahlen dieser Tafel werden multiplizirt

durch	um zu erhalten
0·31144	Londoner Gallons
1·41501	Litres
0·001415	Kubik=Meter
1·236522	Preußische Quart
0·184069	Wiener Achtel (Getr. M.)
0·044800	Wiener Kubik=Fuß
0·041281	Pariser Kubik=Fuß.

Allgemeines Körpermaß.

Name des Ortes und des Maßes	Enthält	
	Kubik-Centimeter	Vergleichende Logarithm. *)
Bairische K. Klafter	5369962	6·7299740
„ „ Fuß ..	24861·7	4·3955202
„ „ Zoll .	14·3872	1·1579765
„ „ Linien	0·008326	0·9204328—3
Dänische K. Klafter	6677739	6·8246294
„ „ Fuß...	30915·6	4·4901756
„ „ Zoll ..	17·8909	1·2526319
„ „ Linien	0·010401	0·0170882—2
Englische K. Yard	764513	5·8833851
„ „ Fuß ..	28315·3	4·4520213
„ „ Zoll ..	16·3862	1·2144776
„ „ Linien	0·009482	0·9769339—3
Französ. K. Toisen	7403890	6·8694599
„ „ Fuß ..	34278·3	4·5350061
„ „ Zoll .	19·8364	1·2974624
„ „ Linien	0·0111479	0·0599187—2
Oestreich. K. Klafter	6822394	6·8339370
„ „ Fuß..	31585·2	4·4994832
„ „ Zoll .	18·2784	1·2619395
„ „ Linien	0·010578	0·0243958—2
Preußisch. K. Klafter	6677821	6·8246348
„ „ Fuß .	30915·9	4·4901810
„ „ Zoll .	17·8911	1·2526373
„ „ Linien	0·010354	0·0150936—2
Russischer K. Faden	9589300	6·9878676
Sächsische K. Klafter	4877819	6·6882257
„ „ Fuß ..	22582·5	4·3537719
„ „ Zoll .	13·0684	2·1162282
„ „ Linien	0·007563	0·8786845—3
Schwed. K. Klafter	5649506	6·7520105
„ „ Fuß ..	26155·1	4·4175567
„ „ Zoll ..	15·1361	1·1800130
„ „ Linien	0·008735	0·9424639—3

*) Dieser wird zum Logarithmus des Maßes in der ersten Spalte addirt, um den Logarithmus der Kubik-Centimeter, oder vom Logarithmus des Kubik-Centimeter abgezogen, um den Logarithmus des Maßes in der ersten Spalte zu erhalten.

Verwandlung der Kubik-Zoll und Kubik-Linien in Kubik-Fuß.

K. Z.	Kubik-Fuß	K. L.	Kubik-Fuß
1	0·000578704	1	0·000000335
2	0·001157407	2	0·000000670
3	0·001736111	3	0·000001005
4	0·002314815	4	0·000001339
5	0·002893518	5	0·000001674
6	0·003472222	6	0·000002009
7	0·004050926	7	0·000002344
8	0·004629630	8	0·000002679
9	0·005208333	9	0·000003014
10	0·005787037	10	0·000003349

Vergleichung einiger Kubik-Fuß unter einander und mit dem Kubik-Meter.

(Zur Seite 9.)

Kub. Meter	Pariser K. F.	England Rußland K. F.	Preußen Dänemark rheinl. K. F.	Baiern K. F.	Hannover K. F.	Sachsen K. F.	Braunschweig K. F.	H. Kassel Nassau K. F.	Würtemb. Hamburg K. F.	Baden Schweiz K. F.	Oesterreich Wien K. Z.	Frankfurt K. F.	Hessen Darmstadt K. F.
1	29·17385	35·31658	32·34587	40·22350	40·12627	44·03176	43·03380	41·99374	42·52752	37·03704	31·65785	43·42633	64·00000
0·03427727	1	1·210556	1·108728	1·378752	1·375419	1·509288	1·475081	1·439431	1·457727	1·269529	1·085145	1·486968	2·193745
0·02831531	0·8260668	1	0·9158836	1·138941	1·136188	1·246773	1·218515	1·189066	1·204180	1·048715	0·8964019	1·228335	1·812180
0·03091584	0·9019342	1·091842	1	1·243543	1·240538	1·361279	1·330426	1·298272	1·314774	1·145031	0·9787291	1·341137	1·983175
0·02486109	0·7252938	0·8780087	0·8041537	1	0·9975830	1·094678	1·069867	1·044010	1·057281	0·9207812	0·7870486	1·078486	1·591108
0·02492133	0·7270511	0·8801360	0·8061021	1·002423	1	1·097330	1·072459	1·046540	1·059842	0·9230121	0·7889556	1·081105	1·594963
0·02271088	0·6625639	0·8020706	0·7346033	0·9135110	0·9113031	1	0·9773355	0·9337149	0·9658375	0·8411438	0·7189776	0·9852112	1·453496
0·02320755	0·6779288	0·8206707	0·7516389	0·9346955	0·9324363	1·023190	1	0·9758317	0.9882354	0·8606500	0·7356508	1·008050	1·487202
0·02381307	0·6947190	0·8409962	0·7702546	0·9578450	0·9555299	1·048531	1·024767	1	1·012711	0·8819656	0·7538706	1·033026	1·524035
0·02351418	0·6859993	0·8304405	0·7605868	0·9458227	0·9435366	1·035371	1·011905	0·9874486	1	0·8708957	0·7444084	1·020058	1·504909
0·02700000	0·7876940	0·9535476	0·8733386	1·086034	1·083409	1·188857	1·161913	1·133831	1·148243	1	0·8547619	1·171262	1·728000
0·03158774	0·9215362	1·115571	1·021733	1·270570	1·267499	1·390864	1·359341	1·326488	1·343349	1·169916	1	1·370228	2·021615
0·02305179	0·6725100	0·8141105	0·7456305	0·9272236	0·9249829	1·015011	0·9922322	0·9680310	0·9803352	0·8537700	0·7297703	1	1·473760
0·01562500	0·4558415	0·5518216	0·5054044	0·6284929	0·6269734	0·6879961	0·6724033	0·6561526	0·6644920	0·5787040	0·4946528	0·6785370	1

Verwandlung des Duodecimal-Längenmaßes in Decimaltheile.

(Zur Seite 9.)

Fuß	enthält Klafter	Zoll	enthält Klafter	Linie	enthält Klafter	Punkt	enthält Klafter
1	0·1666667	1	0·0138889	1	0·0011574	1	0·0000965
2	0·3333333	2	0·0277778	2	0·0023148	2	0·0001926
3	0·5000000	3	0·0416667	3	0·0034722	3	0·0002894
4	0·666667	4	0·0555556	4	9·0046296	4	0·6003858
5	0·833333	5	0·0694444	5	0·0057870	5	0·0004823
6	1·0000000	6	0·0833333	6	0·0069444	6	0·0005787
7	1·1666667	7	0·0972222	7	0·0081019	7	0·0006752
8	1·3333333	8	0·1111111	8	0·0092593	8	0·0007716
9	1·5000000	9	0·1250000	9	0·0104166	9	0.0008681
10	1·6666667	10	0·1388889	10	0·0115741	10	0·0009645
11	1·8333333	11	0·1527778	11	0·0127315	11	0·0010610

Zoll	enthält Fuß	Linie	enthält Fuß	Punkt	enthält Fuß	Linie	enthält Zoll
1	0·0833333	1	0·0069444	1	0·0005787	1	0·0833333
2	0·1666667	2	0·0138889	2	0·0011574	2	0·1666667
3	0·2500000	3	0·0208333	3	0·0017361	3	0·2500000
4	0·3333333	4	0·0277778	4	0·0023148	4	0·3333333
5	0·4166667	5	0·0347222	5	0·0028935	5	0·4166667
6	0·5000000	6	0·0416667	6	0·0034722	6	0·5000000
7	0·5833333	7	0·0486111	7	0·0040509	7	0·5833333
8	0·6666667	8	0·0555556	8	0·0046296	8	0·6666667
9	0·7500000	9	0·0625000	9	0·0052983	9	0·7500000
10	0·8333333	10	0·0694444	10	0·0057870	10	0·8333333
11	0·9166667	11	0·0763889	11	0·0063657	11	0·9166667

Verwandlung des Duodecimal-Flächenmaßes in Decimaltheile.

(Zur Seite 9.)

□Fuß	enthält □Klafter	□Zoll	enthält □Klafter	□Linie	enthält □Klafter	□Zoll	enthält □Fuß	□Linie	enthält □Fuß	□Punkt	enthält □Fuß
1	0·02777778	1	0·00019290	1	0·00000134	1	0·00694444	1	0·00004823	1	0·00000033
2	0·05555556	2	0·00038580	2	0·00000268	2	0·01388889	2	0·00009645	2	0·00000067
3	0·08333333	3	0.00057870	3	0·00000402	3	0·02083333	3	0·00014468	3	0·00000100
4	0·11111111	4	0·00077160	4	0·00000536	4	0·02777778	4	0·00019290	4	0·00000134
5	0·13888889	5	0·00096451	5	0·00000670	5	0·03472222	5	0·00024113	5	0·00000167
6	0·16666667	6	0·00115741	6	0·00000804	6	0·04166667	6	0.00028935	6	0·00000201
7	0·19444444	7	0·00135031	7	0·00000938	7	0·04861111	7	0·00033758	7	0·00000234
8	0·22222222	8	0·00154321	8	0·90001072	8	0·05555556	8	0·00038580	8	0·00000268
9	0·25000000	9	0·00173611	9	0·00001206	9	0·06250000	9	0·00043403	9	0·00000301
10	0·27777778	10	0·00192901	10	0·00001340	10	0·06944444	0	0·00048225	10	0·00000335

Verwandlung des Duodecimal-Kubikmaßes in Decimaltheile.

(Zu Seite 9.)

K. F.	enthält Kub. Klafter	K. Z.	enthält Kub. Klafter	K. L.	enthält Kub. Klafter	K. Z.	enthält Kub. Fuß	K. L.	enthält Kub. Fuß
1	0·0046296296	1	0·0000026792	1	0·0000000016	1	0·0005787037	1	0·0000003349
2	0·0092592593	2	0·0000053584	2	0·0000000031	2	0·0011574074	2	0·0000006698
3	0·0138888889	3	0·0000080376	3	0·0000000047	3	0·0017361111	3	0·0000010047
4	0·0185185185	4	0·0000107167	4	0·0000000062	4	0·0023148148	4	0·0000013396
5	0·0231481481	5	0·0000133959	5	0·0 00000078	5	0·0028935185	5	0·0000016745
6	0·0277777778	6	0·0000160751	6	0·0000000093	6	0·0034722222	6	0·0000020094
7	0·0324074074	7	0·0000187543	7	0·00 0000109	7	0·0040509259	7	0·0000023443
8	0·0370370370	8	0·0000214335	8	0·0000000124	8	0·0046296296	8	0·0000026792
9	0·0416666667	9	0·0000241127	9	0·0000000140	9	0·0052083333	9	0·0000030141
10	0·0462962963	10	0·0000267918	10	0·0000000155	10	0·0057870370	10	0·0000033490

IV. Tabelle

zur Verwandlung der Thermometergrade nach den drei üblichen Scalen.

(Zu Seite 26.)

A. Verwandlung der Reaumur'schen Grade in Celsius'sche und Fahrenheit'sche.

Grade nach Reaumur	machen		Grade nach Reaumur	machen		Grade nach Reaumur	machen		Grade nach Reaumur	machen	
	Cels.	Fahr.		Cels.	Fahr.		Cels.	Fahr.		Cels.	Fahr.
—32	—40·00	—40·00	— 4	— 5·00	23·00	24	30·00	86·00	52	65·00	149·00
—31	—38·75	—37·75	— 3	— 3·75	25·25	25	31·25	88·25	53	66·25	151·25
—30	—37·50	—35·50	— 2	— 2·50	27·50	26	32·50	90·50	54	67·50	153·50
—29	—36·25	—33·25	— 1	— 1·25	29·75	27	33·75	92·75	55	68·75	155·75
—28	—35·00	—31·00	0	0·00	32·00	28	35·00	95·00	56	70·00	158·00
—27	—33·75	—28·75	1	1·25	34·25	29	36·25	97·25	57	71·25	160·25
—26	—32·50	—26·50	2	2·50	36·50	30	37·50	99·50	58	72·50	162·50
—25	—31·25	—24·25	3	3·75	38·75	31	38·75	101·75	59	73·75	164·75
—24	—30·00	—22·00	4	5·00	41·00	32	40·00	104·00	60	75·00	167·00
—23	—28·75	—19·75	5	6·25	43·25	33	41·25	106·25	61	76·25	169·25
—22	—27·50	—17·50	6	7·50	45·50	34	42·50	108·50	62	77·50	171·50
—21	—26·25	—15·25	7	8·75	47·75	35	43·75	110·75	63	78·75	173·75
—20	—25·00	—13·00	8	10·00	50·00	36	45·00	113·00	64	80·00	176·00
—19	—23·75	—10·75	9	11·25	52·25	37	46·25	115·25	65	81·25	178·25
—18	—22·50	— 8·50	10	12·50	54·50	38	47·50	117·50	66	82·50	180·50
—17	—21·25	— 6·25	11	13·75	56·75	39	48·75	119·75	67	83·75	182·75
—16	—20·00	— 4·00	12	15·00	59·00	40	50·00	122·00	68	85·00	185·00
—15	—18·75	— 1·75	13	16·25	61·25	41	51·25	124·25	69	86·25	187·25
—14	—17·50	0·50	14	17·50	63·50	42	52·50	126·50	70	87·50	189·50
—13	—16·25	2·75	15	18·75	66·75	43	53·75	128·75	71	88·75	191·75
—12	—15·00	5·00	16	20·00	68·00	44	55·00	131·00	72	90·00	194·00
—11	—13·75	7·25	17	21·25	70·25	45	56·25	133·25	73	91·25	196·25
—10	—12·50	9·50	18	22·50	72·50	46	57·50	135·50	74	92·50	198·50
— 9	—11·25	11·75	19	23·75	74·75	47	58·75	137·75	75	93·75	200·75
— 8	—10·00	14·00	20	25·00	77·00	48	60·00	140·00	76	95·00	203·00
— 7	— 8·75	16·25	21	26·25	79·25	49	61·25	142·25	77	96·25	205·25
— 6	— 7·50	18·50	22	27·50	81·50	50	62·50	144·50	78	97·50	207·50
— 5	— 6·25	20·75	23	28·75	83·75	51	63·75	146·75	79	98·75	209·75
									80	100·00	212·00

B. Verwandlung der Celsius'schen Grade in Reaumur'sche und Fahrenheit'sche.

Grade nach Celsius	machen		Grade nach Celsius	machen		Grade nach Celsius	machen		Grade nach Celsius	machen	
	Reaum.	Fahr.		Reaum.	Fahr.		Reaum.	Fahr.		Reaum.	Fahr.
—40	—32·0	—40·0	—30	—24·0	—22·0	—20	—16·0	— 4·0	—10	—8·0	14·0
—39	—31·2	—38·2	—29	—23·2	—20·2	—19	—15·2	— 2·2	— 9	—7·2	15·8
—38	—30·4	—36·4	—28	—22·4	—18·4	—18	—14·4	0·4	— 8	—6·4	17·6
—37	—29·6	—34·6	—27	—21·6	—16·6	—17	—13·6	1·4	— 7	—5·6	19·4
—36	—28·8	—32·8	—26	—20·8	—14·8	—16	—12·8	3·2	— 6	—4·8	21·2
—35	—28·0	—31·0	—25	—20·0	—13·0	—15	—12·0	5·0	— 5	—4·0	23·0
—34	—27·2	—29·2	—24	—19·2	—11·2	—14	—11·2	6·8	— 4	—3·2	24·8
—33	—26·4	—27·4	—23	—18·4	— 9·4	—13	—10·4	8·6	— 3	—2·4	26·6
—32	—25·6	—25·6	—22	—17·6	— 7·6	—12	— 9·6	10·4	— 2	—1·6	28·4
—31	—24·8	—23·8	—21	—16·8	— 5·8	—11	— 8·8	12·2	— 1	—0·8	30·2

Grade nach Celsius	machen Reaum.	machen Fahr.	Grade nach Celsius	machen Reaum.	machen Fahr.	Grade nach Celsius	machen Reaum.	machen Fahr.	Grade nach Celsius	machen Reaum.	machen Fahr.
0	0·0	32·0	25	20·0	77·0	50	40·0	122·0	75	60·0	167·0
1	0·8	33·8	26	20·8	78·8	51	40·8	123·8	76	60·8	168·8
2	1·6	35·6	27	21·6	80·6	52	41·6	125·6	77	61·6	170·6
3	2·4	37·4	28	22·4	82·4	53	42·4	127·4	78	62·4	172·4
4	3·2	39·2	29	23·2	84·2	54	43·2	129·2	79	63·2	174·2
5	4·0	41·0	30	24·0	86·0	55	44·0	131·0	80	64·0	176·0
6	4·8	42·8	31	24·8	87·8	56	44·8	132·8	81	64·8	177·8
7	5·6	44·6	32	25·6	89·6	57	45·6	134·6	82	65·6	179·6
8	6·4	46·4	33	26·4	91·4	58	46·4	136·4	83	66·4	181·4
9	7·2	48·2	34	27·2	93·2	59	47·2	138·2	84	67·2	183·2
10	8·0	50·0	35	28·0	95·0	60	48·0	140·0	85	68·0	185·0
11	8·8	51·8	36	28·8	96·8	61	48·8	141·8	86	68·8	186·8
12	9·6	53·6	37	29·6	98·6	62	49·6	143·6	87	69·6	188·6
13	10·4	55·4	38	30·4	100·4	63	50·4	145·4	88	70·4	190·4
14	11·2	57·2	39	31·2	102·2	64	51·2	147·2	89	71·2	192·2
15	12·0	59·0	40	32·0	104·0	65	52·0	149·0	90	72·0	194·0
16	12·8	60·8	41	32·8	105·8	66	52·8	150·8	91	72·8	195·8
17	13·6	62·6	42	33·6	107·6	67	53·6	152·6	92	73·6	197·6
18	14·4	64·4	43	34·4	109·4	68	54·4	154·4	93	74·4	199·4
19	15·2	66·2	44	35·2	111·2	69	55·2	156·2	94	75·2	201·2
20	16·0	68·0	45	36·0	113·0	70	56·0	158·0	95	76·0	203·0
21	16·8	69·8	46	36·8	114·8	71	56·8	159·8	96	76·8	204·8
22	17·6	71·6	47	37·6	116·6	72	57·6	161·6	97	77·6	206·6
23	18·4	73·4	48	38·4	118·4	73	58·4	163·4	98	78·4	208·4
24	19·2	75·2	49	39·2	120·2	74	59·2	165·2	99	79·2	210·2
									100	80·0	212·0

C. Verwandlung Fahrenheit'scher Grade in Celsius'sche und Reaumur'sche.

Grade nach Fahrenheit	machen Cels.	machen Reaum.	Grade nach Fahrenheit	machen Cels.	machen Reaum.	Grade nach Fahrenheit	machen Cels.	machen Reaum.	Grade nach Fahrenheit	machen Cels.	machen Reaum.
−40	−40·00	−32·00	−22	−30·00	−24·00	−4	−20·00	−16·00	14	−10·00	−8·00
−39	−39·44	−31·55	−21	−29·44	−23·55	−3	−19·44	−15·55	15	−9·44	−7·55
−38	−38·88	−31·11	−20	−28·88	−23·11	−2	−18·88	−15·11	16	−8·88	−7·11
−37	−38·33	−30·66	−19	−28·33	−22·66	−1	−18·33	−14·66	17	−8·33	−6·66
−36	−37·77	−30·22	−18	−27·77	−22·22	0	−17·77	−14·22	18	−7·77	−6·22
−35	−37·22	−29·77	−17	−27·22	−21·77	1	−17·22	−13·77	19	−7·22	−5·77
−34	−36·66	−29·33	−16	−26·66	−21·33	2	−16·66	−13·33	20	−6·66	−5·33
−33	−36·11	−28·88	−15	−26·11	−20·88	3	−16·11	−12·88	21	−6·11	−4·88
−32	−35·55	−28·44	−14	−25·55	−20·44	4	−15·55	−12·44	22	−5·55	−4·44
−31	−35·00	−28·00	−13	−25·00	−20·00	5	−15·00	−12·00	23	−5·00	−4·00
−30	−34·44	−27·55	−12	−24·44	−19·55	6	−14·44	−11·55	24	−4·44	−3·55
−29	−33·88	−27·11	−11	−23·88	−19·11	7	−13·88	−11·11	25	−3·88	−3·11
−28	−33·33	−26·66	−10	−23·33	−18·66	8	−13·33	−10·66	26	−3·33	−2·66
−27	−32·77	−26·22	−9	−22·77	−18·22	9	−12·77	−10·22	27	−2·77	−2·22
−26	−32·22	−25·77	−8	−22·22	−17·77	10	−12·22	−9·77	28	−2·22	−1·77
−25	−31·66	−25·33	−7	−21·66	−17·33	11	−11·66	−9·33	29	−1·66	−1·33
−24	−31·11	−24·88	−6	−21·11	−16·88	12	−11·11	−8·88	30	−1·11	−0·88
−23	−30·55	−24·44	−5	−20·55	−16·44	13	−10·55	−8·44	31	−0·55	−0·44

Grade nach Fahrenheit	machen		Grade nach Fahrenheit	machen		Grade nach Fahrenheit	machen		Grade nach Fahrenheit	machen	
	Cels.	Reaum.		Cels.	Reaum.		Cels.	Reaum.		Cels.	Reaum.
32	0·00	0·00	77	25·00	20·00	122	50·00	40·00	167	75·00	60·00
33	0·55	0·44	78	25·55	20·44	123	50·55	40·44	168	75·55	60·44
34	1·11	0·88	79	26·11	20·88	124	51·11	40·88	169	76·11	60·88
35	1·66	1·33	80	26·66	21·33	125	51·66	41·33	170	76·66	61·33
36	2·22	1·77	81	27·22	21·77	126	52·22	41·77	171	77·22	61·77
37	2·77	2·22	82	27·77	22·22	127	52·77	42·22	172	77·77	62·22
38	3·33	2·66	83	28·33	22·66	128	53·33	42·66	173	78·33	62·66
39	3·88	3·11	84	28·88	23·11	129	53·88	43·11	174	78·88	63·11
40	4·44	3·55	85	29·44	23·55	130	54·44	43·55	175	79·44	63·55
41	5·00	4·00	86	30·00	24·00	131	55·00	44·00	176	80·00	64·00
42	5·55	4·44	87	30·55	24·44	132	55·55	44·44	177	80·55	64·44
43	6·11	4·88	88	31·11	24·88	133	56·11	44·88	178	81·11	64·88
44	6·66	5·33	89	31·66	25·33	134	56·66	45·33	179	81·66	65·33
45	7·22	5·77	90	32·22	25·77	135	57·22	45·77	180	82·22	65·77
46	7·77	6·22	91	32·77	26·22	136	57·77	46·22	181	82·77	66·22
47	8·33	6·66	92	33·33	26·66	137	58·33	46·66	182	83·33	66·66
48	8·88	7·11	93	33·88	27·11	138	58·88	47·11	183	83·88	67·11
49	9·44	7·55	94	34·44	27·55	139	59·44	47·55	184	84·44	67·55
50	10·00	8·00	95	35·00	28·00	140	60·00	48·00	185	85·00	68·00
51	10·55	8·44	96	35·55	28·44	141	60·55	48·44	186	85·55	68·44
52	11·11	8·88	97	36·11	28·88	142	61·11	48·88	187	86·11	68·88
53	11·66	9·33	98	36·66	29·33	143	61·66	49·33	188	86·66	69·33
54	12·22	9·77	99	37·22	29·77	144	62·22	49·77	189	87·22	69·77
55	12·77	10·22	100	37·77	30·22	145	62·77	50·22	190	87·77	70·22
56	13·33	10·66	101	38·33	30·66	146	63·33	50·66	191	88·33	70·66
57	13·88	11·11	102	38·88	31·11	147	63·88	51·11	192	88·88	71·11
58	14·44	11·55	103	39·44	31·55	148	64·44	51·55	193	89·44	71·55
59	15·00	12·00	104	40·00	32·00	149	65·00	52·00	194	90·00	72·00
60	15·55	12·44	105	40·55	32·44	150	65·55	52·44	195	90·55	72·44
61	16·11	12·88	106	41·11	32·88	151	66·11	52·88	196	91·11	72·88
62	16·66	13·33	107	41·66	33·33	152	66·66	53·33	197	91·66	73·33
63	17·22	13·77	108	42·22	33·77	153	67·22	53·77	198	92·22	73·77
64	17·77	14·22	109	42·77	34·22	154	67·77	54·22	199	92·77	74·22
65	18·33	14·66	110	43·33	34·66	155	68·33	54·66	200	93·33	74·66
66	18·88	15·11	111	43·88	35·11	156	68·88	55·11	201	93·88	75·11
67	19·44	15·55	112	44·44	35·55	157	69·44	55.55	202	94·44	75·55
68	20·00	16·00	113	45·00	36·00	158	70·00	56·00	203	95·00	76·00
69	20·55	16·44	114	45·55	36·44	159	70·55	56·44	204	95·55	76·44
70	21·11	16·88	115	46·11	36·88	160	71·11	56·88	205	96·11	76·88
71	21·66	17·33	116	46·66	37·33	161	71·66	57·33	206	96·66	77·33
72	22·22	17·77	117	47·22	37·77	162	72·22	57·77	207	97·22	77·77
73	22·77	18·22	118	47·77	38·22	163	72·77	58·22	208	97·77	78·22
74	23·33	18·66	119	48·33	38·66	164	73·33	58·66	209	98·33	78·66
75	23·88	19·11	120	48·88	39·11	165	73·88	59·11	210	98·88	79·11
76	24·44	19·55	121	49·44	39·55	166	74·44	59·55	211	99·44	79·55
									212	100·00	80·00

(Zur Seite 26.)

V. Tabelle

zur Reduction der Grade eines 80theiligen Weingeistthermometers auf jene eines 80theiligen Quecksilberthermometers.

Weing. Therm.	Quecks. Therm.	Weing. Therm.	Quecks. Therm.	Weing. Th.	Quecks. Therm.	Weing. Th.	Quecks. Therm.	Weing. Th.	Quecks. Therm.	Weing. Th.	Quecks. Therm.	Weing. Th.	Quecks. Therm.	Weing. Th.	Quecks. Therm.
—20	—29 54	—7	—9·51	6	7 61	19	22·79	31	35 00	43	47·44	55	58·57	68	69·86
—19	—27·86	—6	—8·13	7	8·85	20	23 91	32	36 62	44	48·39	56	59·49	69	70·70
—18	—26·18	—5	—6·75	8	10·09	21	25·03	33	37 63	45	49·34	57	60·38	70	71·54
—17	—24·51	—4	—5·37	9	11·28	22	26·10	34	38 64	46	50 26	58	61·27	71	72·38
—16	—22·92	—3	—4·00	10	12 46	23	27·17	35	39·65	47	51·18	59	62 16	72	73·20
—15	—21·33	—2	—2·66	11	13·74	24	28·23	36	40·64	48	52·10	60	63 05	73	74·07
—14	—19·74	—1	—1·33	12	14·82	25	29·29	37	41·63	49	53·02	61	63 95	74	74·92
—13	—18·24	0	0·00	13	15·97	26	30·35	38	42·61	50	53·95	62	64·85	75	75·77
—12	—16·74	1	1·29	14	17·12	27	31·41	39	43 59	51	54·88	63	65 68	76	76·62
—11	—15·24	2	2·57	15	18·27	28	32·47	40	44·57	52	55·81	64	66·51	77	77·47
—10	—13·78	3	3·85	16	19·41	29	33·53	41	45 42	53	75·73	65	67 34	78	78·32
— 9	—12·35	4	5·13	17	20·54	30	34 59	42	46·48	54	57·65	66	68·18	79	79 16
— 8	—10 93	5	6·37	18	21·67							67	69 02	80	80·00

(Zur Seite 29.)

VI. Tabelle.

Verwandlung der Gewichte.

Zu dem Logarithmus der	addire	um zu erhalten den Logarithmus der
Bairisch. Pfunde	0·7481880—1	Kilogramme
„ Lothe	0·2430380—2	
„ Gran	0·8628268—5	
Dänischen Pfunde	0·6983807—1	
„ Lothe	0·1932307—2	
„ Ort	0·8130195—5	
Engl. Pf., Troy-Gew.	0·5719428—1	
„ Loth	0·1917316—2	
„ Gran	0·8115192—5	
„ Pf. avoir-du poids	0·6566194—1	
Französischen Pfunde	0·6897580—1	
„ Lothe	0·1846080—2	
„ Gran	0·8043968—5	
Niederländ. Pfunde	0·0000000	
„ Looden	0·0000000—2	
„ Correls	0·0000000—4	
Oesterreich. Pfunde	0·7481973—1	
„ Lothe	0·2430473—2	
„ Gran	0 8628361—5	
Preußischen Pfunde	0·6699776—1	
„ Lothe	0·1648276—2	
„ Gran	0·7846164—5	
Russischen Pfunde	0·6117169—1	
„ Lothe	0·1065669—2	
„ Solotnik	0·6294457—5	
Sächsischen Pfunde	0·6697333—1	
„ Lothe	0·1645833—2	
„ Gran	0·7843721—5	
Schwedisch. Pfunde	0·6268925—1	
„ Lothe	0·1217425—2	
„ Gran	0·7415313—5	
Um zu erhalten den Logarithmus der	subtrahirt	vom Logarithmus der

Vergleichung einiger Pfundgewichte unter einander und mit dem Kilogramm.

Frankreich Kilogram.	Sachsen, Baden, Hessen-Darmstadt, Schweiz Zollpfund	England Pfund avoir-du poids	Preußen, Hannover, Kurhessen, Braunschweig, Weimar, Würtemberg. Pfund	Baiern Pfund	Oesterreich Pfund	Dänemark, Norwegen Pfund	Schweden Schalpfund
1	2·000000	2 204597	2·138072	1 785714	1 785675	2·002768	2·351063
0·5000000	1	1·102299	1·069036	0·8928571	0·8928377	1 001384	1·175532
0·4535976	0·9071952	1	0·9698245	0·8099957	0·8099781	0 9084507	1·066437
0·4677110	0·9354220	1·031114	1	0·8351982	0 8351800	0·9367166	1·099618
0·5600000	1·129000	1·234574	1·197321	1	0·9999782	1·121550	1·316595
0·5600122	1·120024	1·234601	1·197347	1·000022	1	1·121574	1·316624
0·4993090	0·9986180	1 100775	1·067559	0·8916232	0·8916038	1	1·173907
0·4253395	0·8506790	0·9377023	0·9094066	0·7595348	0·7595183	0·8518563	1

Vergleichung der in andern Ländern gebräuchlichen Gewichte mit dem Wiener Pfund.

(Zur Seite 29.)

Name	hat Wr. Pfund	Name	hat Wr. Pfund
Acino, Neapel	0·00008	**Centinajo,** in Mailand	178·568
Adarne, Spanien	0·00332	**Chariot,** in Niederlanden	155·440
Agito, Pegu	0·70150	**Chattak,** in Ostindien	0·0756
Apothekerpfund, Wien	0·750	**Cheky,** in der Türkei	6·5694
Aratel, Brasilien	0·81930	**Clove,** in England	5·582
Arroba, in Spanien	20·573	**Coccio,** in Sicilien	0·000098
" Valencia	22·223	**Cola,** in Aleppo	118·719
" Portugal	26·227	**Commerzlast,** Hamburg	4327·000
Bahar od. Bäzar, in Amboina	483·250	**Coupang,** in Sumatra	0·01714
" Batavia, großer	497·410	**Darchini,** in Arabien	0·0071
" " kleiner	331·610	**Decagramme,** in Frankreich	0·018
" Sumatra	342·880	**Decigramme,** " "	0·0002
Ballen, in Niederlanden	177·380	**Denheiro,** in Portugal	0·0341
Batman, in Niederlanden	177·380	**Denier,** in Frankreich	0·0014
" Türkei u. Persien	17·850	**Derhem,** in Persien	0·0165
" Constantinopel	6·834	**Deusquin,** in Holland	0·0002
Berkowetz, Rußl., Schiffspfund	292·134	**Dinero,** in Spanien	0·0342
Bismarpfund, in Dänemark	10·700	**Drachma,** in Spanien	0·0064
Bunkal, in Hinterindien	0·0816	**Drachme,** Med. Gew., in Bern	0·00546
Buttima, in Persien	20·500	" Deutschland	0·0071
Cafla, in Arabien	0·0056	" Florenz	0·00627
Candil, oder Candy, Bombay	453·847	" Hamburg	0·00666
" für Getreide u. Reis "	290·256	" London	0·00694
" Kalkutta	390·209	" Niederland	0·00686
" Madras	404·925	" Preußen	0·0065
" Surate	604·066	" Rom	0·00626
Cantarello, in Sardinien	71·631	" Venedig	0·00560
Cantaro, in Aleppo	339·195	" Wien	0·00781
" Candia	100·258	**Dram,** in der Türkei	0·0057
" Constantinopel	102·547	" Constantinopel	0·00573
" Sicilien, C. grosso	155·955	" Smyrna	0·00574
" " C. sottile	141·779	**Dukatengewicht,** in Wien	0·006233
" Rom, C. grosso	606·062	**Dung,** in Persien	0·00137
" " C. sottile	60·580	**Escrupulo,** in Portugal	0·00213
" Smyrna	103·225	" Smyrna	0·00215
Caractere, in Spanien	0·00036	**Ferlino,** in Italien, in Bologna	0·0034
Carate, in Italien, Bologna	0·00033	" Ferrara	0·00311
" Ferrara	0·00030	" Modena	0·00317
" Florenz	0·02525	**Föring,** in Island	8·906
" Genua	0·0236	**Fuen** oder Fu, in China	0·00067
" Mailand	0·0175	**Funda,** in Rußland	0·7303
" Turin	0.0183	**Funt,** in Polen	0·723
" Venedig	0·0004	**Garse,** Getreidegewicht	6292·00
Cargo, in Spanien, in Alicante	246·076	**Gauting,** Reisgewicht	12·344
" Majorka	234·121	**Grän,** in Deutschl., in Antwerpen	0·0015
Catti, in Ostindien, in Sumatra	1·707	" Augsburg	0·00146
" Amboina	1·054	" Bern	0·00057
" Batavia	1·102	" Dänemark	0·0014
" Canton	1·080	" Baiern	0·00145
" Japan	1·063	" Nürnberg	0·0015
Centigramme, Frankreich	0·00002	" Riga	0·0013

Name	hat Wr. Pfund
Grän, in Schweden	0·00134
„ Wien u. Oesterreich	0·00010
„ Juwelengewicht in Berlin	0·000091
„ „ Livorno	0·000088
„ „ London	0·000093
„ „ Ostindien	0·000088
Gramme, in Frankreich	0·0017857
Grista, in Rußland	14·609
Harsela, in Aegypten	2·281
Hectogramme, in Frankreich	0·1786
Hoa, Goldgewicht, in China	0·000007
Kahun, Getreidegewicht	2354·00
Kalvar, in Persien	1061·00
Karat, in Deutschl., in Preußen	0·0174
„ Bern	0·0182
„ Leipzig	0·0174
„ Edelstein- u. Perlengewicht zu 4 Grän	
Amsterdam	0·00037
„ Batavia	0·00035
„ Preußen, Hamburg	0·00037
„ Frankfurt a. Main	0·00037
„ London	0·00037
„ Toscana, Livorno	0·00037
„ Wiener Juwelengew.	0·000368
Kilogramme, in Frankreich	1·786
Lana, in Rußland	0·062
Last, Bremen	3562
„ Dänemark	2739
„ Frankfurt a. M.	3609
„ Hamburg, Schiffslast	3459
„ „ Commerzlast	4324
„ Hannover	2937
„ London	3537
„ Rußland	29·21
„ Schweden	1822
Lira od. Libra, in Bologna	0·6467
„ Genua, schwere	0·6229
„ „ leichte	0·5663
„ Mailand, Lira metrica	1·7857
„ Neapel	0·5732
„ Rom	0·6057
„ Toscana	0·6063
„ Brasilien	0·8193
„ Portugal	0·8195
„ Spanien, Aragonien	0·6246
„ Asturien, große	0·2344
„ „ kleine	0·8230
„ Castilien	0·8230
„ Catalonien	0·7303
Marca, Spanien, Aragonien	0·4106
„ Castilien	0·4115
„ Catalonien	0·4868
„ Mailand	0·4195
„ Piemont	0·4393
Marco, in Portugal	0·4098
Mark, in Dänemark	0·445
„ Hannover	0·436
„ Riga	0·374
„ Schweden	0·608
„ die Cöln. Mark	0·417
„ Augsburg	0·421
„ Preußen	0·417
„ Leipzig	0·417
„ Baiern	0·418
„ Nürnberg	0·426
„ Pariser Mark	0·437
„ Schweden	0·376
„ Wiener Mark	0·500779
Milligramme, in Frankreich	0·0000018
Mitigal od. Miskal, in Calcutta	0·0074
„ Persien	0·0083
Myriagramme, in Frankr.	17·85676
Nail, in Niederland	4·709
Occa, in der Wallachei	2·301
Oka, Türkei, in Constantinopel	
„ „ kleine	2·277
„ „ große	2·290
„ Siebeninseln-Staat	2·186
„ Smyrna	2·295
„ Ungarn und Siebenbürgen	2·2779
Onca od. Unze, Handelsgewicht	
„ in Brasilien	0·051
„ Portugal	0·051
„ Aragonien	0·052
„ Castilien	0·051
„ Catalonien	0·061
Gold- und Silbergewicht	
„ in Brasilien u. Portugal	0·051
„ Aragonien	0·051
„ Castilien	0·051
„ Catalonien	0·061
Oncia, Handelsgewicht, Italien	
„ in Ancona	0·049
„ Bologna	0·048
„ Florenz	0·050
„ Genua	0·047
„ Lucca	0·0554
„ Mailand, metr.	0·1786
„ Sicilien	0·0472
„ Neapel	0·0478
„ Rom	0·0505
„ Venedig	0·0448
Gold- u. Silbergewicht	
„ in Bologna	0·0485
„ Florenz u. Rom	0·0505
„ Genua	0·047
„ Mailand	0·0524
„ Neapel und Sicilien	0·0478
„ Sardinien und Turin	0·0549

Name	hat Wr. Pfund
Oncia, in Venedig	0·0532
Ort, in Dänemark	0'0017
Packen, in Rußland	876·44
Parah, in Ostindien	36·28
Pekul, in Amboina	105·50
" Batavia	104·50
" Canton	108·00
Perma, in Rußland	6020·0
Peso, in Italien, in Bologna	16·170
" Genua .	467·33
" Venedig	0·852
Pfennig, in Berlin	0·0016
" Bern	0·0017
" Deutschland .	0·0013
" Nürnberg . .	0·0017
" Baiern . . .	0·0017
Pfund, in Aachen	0·8338
" Aarau	0·8507
" Altenburg	0·8331
" Altona	0·8649
" Amberg	1·0707
" Amsterdam . . .	0·8820
" Ansbach	0·9095
" Antwerpen . . .	0·8400
" Augsburg . . .	0·8768
" Baden, s. Carlsruhe	
" Baiern, s. München	
" Basel	0·8741
" " kleines Gew.	0·8677
" " Spezereigew.	0·8572
" Berlin	0·8346
" " altes Handelsg.	0·8363
" Bern	0·9288
" Botzen	0·8945
" " Tiroler Pfund	1·0075
" Braunschweig . .	0·8345
" Bremen	0·8902
" Breslau	0·7233
" Brüssel, leichtes .	0·8323
" " schweres .	0·8782
" Carlsruhe . . .	0·8928
" Cassel, leichtes . .	0·8346
" " schweres .	0·8643
" Cleve	0·8338
" Coblenz	0·8326
" Coburg	0·9101
" Cöln	0·8346
" Copenhagen . . .	0·8916
" Crakau	0·7246
" Dänemark, s. Copenhagen.	
" Danzig	0·7775
" Darmstadt . . .	0·8928
" Dresden, wie Leipzig	
" Düsseldorf . . .	0·9023
Pfund, in England, Pound .	0·8099
" " Deutsch-Pound	0·8858
" " Troy-Pound .	0·6664
" " " Schottisch .	1·0285
" " " Tron-Pd. .	1·1389
" " Air-Tron-Pound	1·2147
" " Country.Tron-Pound . .	1·1041
" " Edinburgh-Tr.-Pound . .	1·1135
" Frankfurt a. M. .	0·9023
" Freiburg	0·9439
" Genf	0·9834
" Haag und Harlem	0·8827
" Hamburg	0·8649
" Hannover . . .	0·8742
" Heidelberg, leichtes	0·8339
" " schweres	0·9006
" Holstein, wie Altona	
" Kiel	0·8508
" Königsberg, wie Berlin	
" Krems und Linz in Oesterreich	1·0113
" Leipzig	0·8054
" Lemberg, Galizien	0·7500
" London, s. England	
" Lübeck	0·8630
" Lüttich	0·8480
" Mannheim, wie Heidelberg . .	
" Mainz	0·8405
" Meißen	0·8427
" München	0.9999
" Nürnberg	0·9113
" Ofen, Ungarn . .	0·8775
" Oldenb., wie Hamb.	
" Osnabrück . . .	0·8820
" Paris, metrisches .	0·8928
" Prag, wie Wien.	
" Preßburg, wie Wien	
" Reval	0·7687
" Riga	0·7465
" Rostock	0·8605
" Schlesien, österr. .	0·9461
" St. Petersburg .	0·7304
" Stockholm . . .	0·7563
" Stuttgart, wie Cöln	
" Trier	0·8350
" Tirol, wie Botzen	
" Wien, Handelsgew.	1·0000
" " Apothekerpf.	6·7500
" Würzburg, leichtes	0·8520
" " schweres	0·9085
" Zürch	0·9437

Name	hat Wr. Pfund
Pound, s. Pfund.	
Pud, Rußland	29·25
Quarto, in Spanien, in Barcellona	0·0152
„ Valencia	0·0129
„ Venedig	0·0133
Quintal, in Portugal	104·9
„ Frankreich	87·379
„ Genf	37·656
„ Aragonien	89·941
„ Castilien	82·285
„ Catalonien	74·283
„ Merico	82·25
Richtpfennig, in Wien	0·00000764
Schiffspfund, in Altona	242·2
„ Amsterdam	264·6
„ Berlin und Preußen	275·6
„ Dänemark	285·3
„ Hamburg	242·2
„ Narwa, Rußland	334·2
„ St. Petersburg	292·1
„ Reval	307·5
„ Stockholm u. Schweden	194·2
Scrupel, Medic. Gewicht in Preußen	0·0022
„ Hannover	0·0023
„ Nürnberg	0·0024
„ Oesterreich	0·0026
„ Schweden	0·0022
„ Basel	0·0020
„ Bologna	0·0021
„ Florenz	0·0021
„ Mailand	0·0026
„ Rom	0·0021
„ Venedig	0·0019
„ Polen	0·0019
Solotnik, in Rußland	0·0076
Stein, in Amsterdam	7·22
„ Berlin, schwerer	18·59
„ „ leichter	9·28
„ Crakau	23·19
„ Danzig, wie Berlin	
„ Hamburg	17·16
„ Leipzig	18·37
„ Prag	18·37
„ Schweden	24·20

Name	hat Wr. Pfund
Stein, in Wien	20·00
„ England, für Fleisch	6·48
„ „ Glas	4·05
„ „ Wolle	11·34
Tail, in Indien, in Sumatra	0·0686
„ Java	0·1220
„ Borneo	0·0899
„ China	0·0675
„ Japan	0·0672
„ Siam	0·1043
Tola, in Ostindien, in Bengalen	0·0195
„ Bombay	0·0206
Unze, Handelsgew. zu 2 Loth, in Aachen	0·0521
„ Amsterdam	0·0551
„ Cöln	0·0522
„ Dänemark	0·0558
„ Riga	0·0466
„ Zürch	0·0523
Gold- und Silbergewicht	
„ Amsterdam	0·0549
„ Berlin	0·0522
Medicinal-Gewicht	
„ Amsterdam	0·055
„ Niederland	0·056
„ Nürnberg	0·057
„ Venedig	0·045
„ Wien	0·063
Wigge, in Niederland	0·0018
Wog oder Wag, in Dänemark	32·94
Zurlo, in Aleppo	112·00

Die Zahlen dieser Tabelle werden multiplizirt

durch	um zu erhalten:
560·012	neue französ. Gramme.
11655·43	holl. As Troys-Gewicht.
10543·43	Grains des alten französ. Handelsgewichtes.
130774·00	Richtpfennige des Wiener Valvat. Gewichtes.
1·995453	Mark des Wr. Valv. Gew.
1·333333	Pf. des Wr. Apoth.-Gew.
1·5009883	Pounds d. Lond. Troys-G.
1·2350988	Pounds des Lond. Avoirdupoids Gewichtes.
1·0000000	Wr. Pfund Handelsgew.

VII. Tabelle.

A. Spezifische Gewichte fester Körper.

(Zur Seite 30.)

Anmerkung. Die den Namen der Körper zunächst stehenden Zahlen bedeuten die Temperatur, auf welche sich das spezifische Gewicht bezieht; alle andern spezifischen Gewichte beziehen sich auf die mittlere Temperatur.

Körper	Spezifisches Gewicht	Körper	Spezifisches Gewicht
Acacienholz 14°	0·650—0·702	Badeschlamm	1·313
„ englisches	0·710	Bärenleder 14°	1·271
Achat 14°	2·553—2·666	Baryt	4·00
Ackererde	2·401	„ essigsaurer	1·828
„ bei 30—40° R. getrockn.	2·401	„ kohlensaurer	4·302
Aerolith, s. Meteorstein.		„ salpetersaurer	2·915
Agtstein, s. Bernstein.		„ salzsaurer s. Chlorbarium	
Ahornholz, frisch gefälltes	0·904	„ schwefelsaurer 0°	4·200
„ vollk. lufttrockenes	0·645	Baryum 14°	4·00
Alabaster	2·611—2·876	Basalt 14°	2·415—2·864
Alaun	1·753	Bausteine, ungefähr	2·500
Alaunerde, s. Thonerde		Benzoe	1·063
Alaunschiefer	2·339—2·588	Bergkork (Asbest)	0·680
Alaunstein, derb	2·671	Bergkrystall, s. Quarz.	
Aloeholz	1·177	Bernstein (Agstein)	1·065—1·110
Amethyst	2·651	„ gelber, klarer 14°	1·078
Amiant, s. Asbest.		„ „ undurchsichtiger 14°	1·085
Amylon des Handels	1·530	„ grüner 14°	1·083
Animeharz	1·043	„ honiggelber	1·081
Anthrazit, Stangenkohlen	1·400—1·590	„ rother	1·083
Antimon	6·712	Beryll, brasilianischer 14°	2·782
„ gediegen	6·646	„ orientalischer 14°	3·548
Antimonblende	4·50 —4·60	„ schörlartiger	3·530
Antimonglanz	4·70 —4·850	„ sibirischer 14°	2·723
Antimonoxyd	5·778	Beryllerde	2·967
Apfelbaumholz	0·639	Bimsstein 14°	0·914
„ vollk. lufttrocken	0·734	Birkenholz, lufttrocken	0·738
Aprikosenbaumholz	0·711—0·868	„ frisch gefälltes 14°	0·702
Aquamarin, s. Beryll.		Birnbaumholz	0·603
Argentan, s. Packfong.		„ trockenes	0·732
Arragon, Arragonit	2·850	Blauholz, s. Campecheholz.	
„ dunkelgrünlich-weißer	2·995	Blei, gehämmert	11·388
„ gelblich-weißer	2·931	Bleiglätte, vergl. Bleioxyd	6·044
Arsenik, natürlicher	5·766	Bleioxyd, s. Bleiglätte 14·22°	9·277
„ in sublimirt. Krystallen	5·700	„ kohlens. (Bleiweiß) 0°	6·427
Arsenikeisen, natürliches	7·220	„ molybdänsaures	6·698
Arsenikglanz	5·20 —5·50	„ basisch phosphorsaures	
Arsenikkies	5·839	(Braunbleierz)	6·092—7·050
Arseniknickel	7·655	„ Grünbleierz	7·208
Arseniksäure	3·734	Bleispath, arsenischer	7·190
Asant, stinkender	1·251	„ brauner	6·831
Asbest	0·908—2·444	Bleiweis, s. Bleioxyd.	
Asphalt	1·073—1·160	Blende, (Schwefelzink)	4·078
Atlasholz, s. Satinholz.		Blutstein, (Glaskopf) 14°	4·360
Auripigment, s. Schwefelar-		Botanybayholz	1·067
senik.		Brasilienholz	1·031
Aventurin, dunkler	2·642	Brauneisenstein	3·8 — 4·2
„ durchscheinender	2·667	Braunkohle, s. Steinkohle.	

Körper	Spezifisches Gewicht	Körper	Spezifisches Gewicht
Braunstein, s. Manganüberoxyd.		Cordierit	2·583
Bromkalium 0°	2·415	„ (Dichroit) 14·4°	2·599
Bromsilber 0°	6·353	Cyaneisenkalium	1·833
Bronze, antike	9·200	Cyanquecksilber	2·761
Buchenholz, frisch gefällt	0·852	Cypressenholz	0·664
„ vollk. lufttrocken	0·750	Dahlin, s. Inulin.	
Buchsbaumholz, brasilianisches, rothes	1·031	Dammarharz	1·042—1·123
„ französisches	0·912	Dammerde (Humus) bei 30—40° R. getrocknet	1·225
„ deutsches, lufttrocken	0·942	Datolith 11·6°	3·342—2·929
Bunt-Kupfererz	5·003	Diamant 14°	3·654—3·444
Butirine, Butterfett 15·2°	0·908	Diaspor	3·432
Butter 14°	0·942	Dolomit	2·790
Cacaobutter 14°	0·891	Ebenholz	1·331—0·778
Cadmium, vollk. rein 13·33°	8·659	Edeltannenholz, frisch gefällt	0·894
„ gehämmert 13°	8·6944	„ trockenes	0·550
„ geschmolzen 13°	8·604	Eibenbaumholz, lufttrockenes	0·744
Cadmiumoxyd 13·33°	8·183	Eichenholz, vollk. trockenes	0·650
Caffein 15·2°	1·230	„ Steineiche 14°	0·90 —1·10
Campecheholz	0·913	Eis 0°	0·888—0·950
Campher 14°	0·989	Eisen, schwedisches	7·765
Candiszucker, s. Zucker.		„ ausgewalzt	7·6
Caoutschouk 14°	0·933	„ zu Draht gezogen	7·75
Carneol 14°	2·597—2·630	„ Guß	7·600
Catechu	1·580	„ Roh-, graues	7·200
Cedernholz	0·561	„ „ weißes	7·500
Calcedon, beinahe durchsichtig 14°	2·664	„ Stab- 14°	7·788
„ röthlicher 14°	2·664	„ „ weißes, weiches 0°	7·790
Chinarinde 14°	0·784	Eisenchrom	4·498
Chlorbarium	3·860—4·156	Eisenkies	4·601—4·878
Chlorblei 0°	5·802	Eisenoxyd, künstlich	5·225
Chlorcalcium	1·760	Elemiharz, westindisches 14°	1·018
Chlorkalium	1·836	Elfenbein	1·825
Chlornatrium	1·989	Elzberholz, trockenes 14°	0·879
„ chemisch reines	1·893	Erlenholz	0·484
Chlorsilber 15·11°	5·129	„ frisch gefällt 14°	0·857
Chlorzink	1·577	„ vollk. lufttrocken	0·538
Chrom	5·90	Eschenholz, frisch gefälltes	0·904
Chromeisen	4·064	„ vollk. lufttrocken	0·670
Chromoxyd	5·21	Espenholz, frisch	0·765
Chromoxydul, natürlich	2·50 — 2·6	„ trocken	0·430
Chrysoberyll	3·552	Fahlerz	5·104—4·798
Chrysolith	3·360	Fahlglanz	5·102
Chrysopras 14°	2·479	Faserstoff, frisch 14°	1·051
„ aus Schlesien	2·618	„ getrocknet 14°	1·148
Citronenbaumholz	0·726	Federharz, s. Caoutschouk.	
Cocosnußbaumholz	0·726	Federn 14°	1·257
Coelestin	3·953	Feldspath	2·53 —2·60
Colophonium	0·93 — 1·20	Felsit, vom Vesuv	2·577
Copal, oranggelber 14°	1·060	Fernambukholz	1·014
„ undurchsichtiger 14°	1·039	Fett, Butter, s. Butirine.	
Corallen, rothe 14°	2·479	„ Dachs- 12·5°	0·917
„ schwarze 14°	1·393	„ Hammel-	0·943
		„ Kalbs- 14°	0·934
		„ Menschen-	0·942

Körper	Spezifisches Gewicht
Fett, Ochsen-	0·955
„ Schwein- 12·5°	0·912
„ Speck- 14°	0·936
„ saponificirtes 12°	0·956
Feuerstein, schwärzlicher 14°	2·581
„ weißlicher 14°	2·594
Fichtenharz, gemeines	1·089
„ gereinigtes 14°	1·073
„ Schiffspech 14°	1·086
Fichtenholz	0·408
„ vollk. lufttrocken	0·763
Fischbein 14°	1·244
Fliederholz	0·695
„ spanisches 14°	0·770
Flußspath s. Kalk, flußsaurer.	
Föhrenholz, s. Fichtenholz.	
Franklinit	5·091—5·30
Gadolinit	4·238
Gahnit	4·232
Galbanum, Mutterharz	1·060
Galmei, natürliches	2·56 —4·409
Gambogiumharz 14°	1·221
Gartenerde, bei 30—40° R. getrocknete	2·332
Gay-Lussit	1·950
Gehlenit	2·980
Geigenharz s. Colophonium.	
Gelberde	2·240
Gemmen	1·9 — 4·7
Gerbstoff-Chinin 12·4°	0·816
Gibbsit	2·40
Giftkies	6·155—6·183
Glanzerz s. Silberglanz.	
Glanzkobalt s. Kobaltglanz.	
Glanzkohle s. Anthrazit.	
Glas, Bouteillen 14°	2·732
„ böhmisches 14°	2·642
„ weißes 14°	3·329—3·373
„ „ Frauenhofers	3·778
„ von Guinand	3·616
„ Kron- 14°	2·520
„ ohne Kohle bereitet 14°	2·545
„ mit Kohle 14°	2·553
„ Krystall-, französ. 14°	2·892
„ „ von St. Gobin 14°	2·488
„ „ „ St. Cloud 14°	3·255
„ Spiegel- englisches	2·450
„ „ von St. Gobin	2.370
„ „ „ Neuhaus	2·560
Glaserz s. Silberglanz.	
Glasfeuchtigkeit des Auges vom Menschen	1·002
Glasstein	3·295
Glauberit	2·807
Glaubersalz s. Natron, schwfls.	
Glaukolith	2·721
Glimmer 14°	2·791
„ aus Sibirien	2·949
„ von Nürnberg	3·019
„ von Zinnwald	2·985
„ brauner	3·066
„ grauer	2·897
„ schwarzer 14°	2·938
„ vom Pinzgau	2·911
„ desgl. After-	2·507
„ tautokliner After-	2·821—2·885
Glottalit	2·181
Gold, 24karatig gehämm. 14°	19·361
„ in Guineen 14°	17·629
„ span. Quadrupel 14°	17·655
„ in österr. Dukaten 14°	18·852
„ holländ. „	18·261
„ Doppel-Louisd'or 14°	17·647
„ Geschiebe gediegen	14·857
„ gediegen blaßgelb	12·666
„ von Malpaso, gelb	14·706
„ mit 1/12 Eisen versetzt	16·885
„ „ „ Blei „	18·080
„ „ „ Wismuth „	18.038
„ „ „ Zinn „	17·307
„ „ „ Zink „	16·937
Granat, natürlich kryst.	4·040
„ von weißer Farbe	3·566
„ edler schaliger	3·954
„ rother aus Grönland	3·928—3·986
„ desgl. undurchsichtiger	3·987—4·023
„ edler aus Tirol	4·098
„ lichtrother aus Ungarn	3·975
„ fleischrother	4·25
„ gemeiner, brauner	3·769
„ grüner	3·610
Granatbaumholz	1·354
Granit 14°	2·538—2·956
Graphit, reiner	1·701
„ aus dem Hochofen 0°	2·328
„ in Krystallblättern	2·144
Greenheartholz	1·015
Grenadillholz, braunes und lufttrocken	0·973
Griesholz s. Sandelholz.	
Grobkohle s. Steinkohle.	
Grünerde	2·834
Grünspan s. Kupferoxyd.	
Guajakharz	1·205
Guajakholz	1·313
„ vollk. lufttrocken	1.263
Gummi, arabisches	1·355—1·436
Gummigut	1·175
Gummilack 14°	1·139
Gyps (Fraueneis) 14°	2·168—2·312

Körper	Spezifisches Gewicht
Gyps, blättriger	2·274—2·310
„ dichter	1·872—2·288
„ halbdurchsichtiger	2·274—2·304
„ faseriger	2·306
„ krystallisirter	2·307
Gypserde, bei 30—40° R. getrocknet	2·358
Haar, Menschen- 14°	1·257
Hainbuchenholz	0·945
„ vollk. lufttrocken	0·728
Harz, fossiles	1·046
Haselstrauchholz 14°	0·600
Haut, menschliche	1·100 – 1·190
Heliotrop	2·620—2·700
Helvin	3·560
Herderit	2·985
Herrerit	4·3
Herschelit	2·110
Heulandit	2·213
Hirschhornsalz 14°	1·496
Hollunderbaumholz, s. Fliederholz.	
Holz, im Winter gehauenes	0·679
„ im Sommer gehauenes	0·609
„ bituminöses	1·288
„ versteinertes	2·045—2·675
Holzmark s. Medulin.	
Horn vom Ochsen 14°	1·295
„ vom Rhinoceros	1·242
Hornblei s. Chlorblei.	
Hornblende	3·410
„ basaltische	3·333
Humus s. Dammerde.	
Hyalit	2·110
Hyazinth	3·6873
Hypersthen	3·389
Jacarandaholz	0·908
Jalappenharz	1·218
Jasminholz	0·770
Jaspis	2·310
Idokras	3·20 —3·40
Ilmenit	4·729
Indigo	0·769
Inulin	1·356
Jod 13·6°	4·948
Jodblei	6·110
Jodkalium	3·078—3·104
Jodsilber	5·614
Johannit	3·191
Iridium	19·50
„ gediegen 12°	23·5 — 23·6
Isopyr	2·912
Ittnerit	2·300
Judenpech s. Asphalt.	
Käsestoff, aus d. Kuhmilch 14°	1·100

Körper	Spezifisches Gewicht
Käsestoff, getrocknet	1·259
Kakoxen	3·380
Kali 0°	2·656
„ chlorsaures	1·937
„ chromsaures 0°	2·640
„ kohlensaures neutrales	2·264
„ desgl. saures	2·012
„ salpetersaures	1·980
„ schwefelsaures 0°	2·623
„ desgl. natürliches	1·731
Kalium, vollk. rein 12°	0·865
Kalk, ätzender 0°	3·160
„ flußsaurer	3·140
„ kohlensaurer	2·717
„ phosphorsaurer	3·180—3·225
„ salpetersaurer	1·621
„ schwefelsaurer, vergl. Gyps 0°	2·927
Kalkspath 14°	2·620—2·718
„ eisenhältiger	2·778
„ gelblich-grüner	2·727
„ Magnesia haltiger	2·647
Kalkstein, blättriger 14°	2·710—2·837
„ dichter	2·456—2·720
„ sandiger 14°	2·742
Kanelstein	3·636
Kanonengut	8·441—9·235
Kaolin, (Porzellanerde)	2·210
Kiefernholz, frisches	0·912
„ trockenes	0·550
Kirschbaumgummi	1·475
Kirschbaumholz	0·715
Knochen	1·656
Kobalt	8·710
„ Bleierz	8·444
Kobaltblüthe s. Kobaltoxyd.	
Kobaltglanz	6·230
Kobaltkies	4·923
Kobaltoxyd, natürliches (Kobaltblüthe)	2·948
Kochsalz s. Chlornatrium.	
Königsholz, lufttrocken	0·980
Körper, der menschliche	1·111
Kohle, von Alkohol	2·100
„ v. Atlasholz mit Poren	0·55
„ „ ohne Poren	0·84
„ Botanybayholz m. Por.	0·54
„ „ ohne „	1·12
„ Brasilienholz mit „	0·60
„ „ ohne „	1·40
„ Ebenholz, mit „	0·93
„ „ ohne „	1·36
„ Eichenholz	1·573
„ Kork	0·100
„ Guajak	0·687

Körper	Spezifisches Gewicht
Kohle, Pappel	0·124
„ Tannenholz	0·600
Kohlenblende, s. Anthrazit	1·468
Kokkolith	3·299
Kollyrit	2·06 —2·11
Kolophonit	3·232
Korkholz, zu Flaschenstöpsel	0·240
Korund	3·909—3·979
Krebsaugen	1·890
Kreide	2·252
„ reine 0°	2·694
Kryolith	2·963
Krystallinse des Menschen 14°	1·079
Kupfer in Draht gezogen 14°	8·878
„ feines, schwedisch. 12·4°	8·895
„ japanisches, geschmiedet	9·000
„ raffinirtes 0°	8·721
„ gediegen	8·584
„ Rosettenkupfer	8·843
Kupferglanz	8·695
Kupferkies (Gelferz)	4·169
Kupfernickel, böhmischer 14°	6·608
„ sächsischer 14°	6·648
Kupferoxyd 0°	6·430
„ essigs. (Grünspan) 16°	1·779
„ natürl. „ 14°	3·578
„ kohlensaures 0°	4·781
„ schwefelsaures 0°	3·572
Kupferoxydul 13·33°	6·052
„ natürliches	5·75
Kupfervitriol, natürlicher	2·19 —3·00
Kyanith 14°	3·571
Labrador	2·68 —2·78
Lackmuspigment	1·90
Laudanumharz 14°	1·186
Lambertsnußholz, s. Haselstrauchholz.	
Lanzenholz, vollk. lufttrocken	0·989
Lastonit	2·334
Lasurstein	2·959
Lava	2·795—2·823
Lazulith	3·056
Lebererz	7·100
Leim (Fischleim) 14°	1·268
Lerchenbaumholz 14°	0·622
„ frisch gefällt	0·920
„ vollk. lufttrocken	0·565
Leuzit	2·48 —2·50
Lindenholz	0·408
„ frisch gefällt	0·817
„ vollk. lufttrocken	0·559
Linsenerz	2·926
Lorbeerbaumholz	0·822
Luftholz, vollk. lufttrocken	0·917

Körper	Spezifisches Gewicht
Magnesia 0°	3·200
Magneteisenstein	4·90
Mahagoniholz	1·063
Mandelbaumgummi	1·530
Mandelbaumholz 14°	1·102
Mangan	8·013
Manganerz	4·818
Manganglanz	3·95 —4·01
Manganoxyd	4·328
„ rother Braunstein	3·428
„ Eisenpecherz	2·991
Manganoxydul 13·33°	4·726
Marmor, afrikanischer	2·798
„ grüner	2·668
„ campanischer	2·736
„ carrarischer 14°	2·717
„ florentinischer	2·516
„ französischer 14°	2·634—2·855
„ holländ. u. belg. 14°	2·706—2·752
„ parischer 14°	2·838
„ aus den Pyrenäen 14°	2·700—2·726
„ römischer, schwarzer	2·717
„ „ violetter	2·775
„ span. u. portug. 14°	2·549—2·854
„ aus Norwegen und Sibirien 14°	2·706—2·928
Mastix	1·040
Mastixbaumholz	0·849
Maulbeerbaumholz	0·897
Medullin	0·060
Meerschaum	0·336
Mehlbeerholz, trocken	0·591
„ frisch gefällt	0·863
Melanit	3·742—3·748
Mennige	9·096
Mergel, verhärtet	2·300—2·700
Mergelerde	2·400—6·600
Mergelschiefer, bituminöser	2·242—2·361
Messing, aus 1 Kupf. und 1/4 Zink gegossen	8·396
„ in Draht gezogen 14°	8·544
Meteoreisen, gehämmert	7·965
„ von Agram 14°	7·785
„ „ Bahumielic	7·342
„ vom Cap	7·544
„ von Ellbogen	7·788
„ „ Lenarto 14°	7·798
„ „ Peru 14°	7·355
Meteorstein, (Aerolith)	3·43 —3·70
Milchzucker 14°	1·548
Mispelbaumholz	0·944
Molybdän	8·615—8·636
Molybdänglanz	4·591
Molybdänoxyd	5·666
Molybdänsilber	8·44

Körper	Spezifisches Gewicht
Musivgold	4·415
Muskeln eines Erwachsenen 14°	1·073
Mutterharz, s. Galbanum.	
Nadelerz	6·125
Naphthalin	1·048
Natrium 12°	0·935
Natron 0°	2·805
„ kohlensaures 0°	2·4659
„ salpetersaures 0°	2·256
„ salzsaures, s. Chlornatrium.	
„ schwefelsaures	2·246
Natronalaun	1·60
Nephelin, (Fettstein)	2·560
Nervensubstanz eines Erwachsenen 14°	1·046
Nickel	8·713
„ geschmiedet	8·666
Nickelglanz	6·097—6·129
Nickelgrün	3·078
Nickelüberoxyd 13·33°	4·846
Nußholz, s. Wallnußbaumholz	
Obsidian	2·348
Oelbaumholz, s. Olivenbaumholz.	
Olivenbaumholz	0·927
Olivenit	4·200—4·600
Olivin	2·960—3·225
Onix	2·638—2·816
Opal 14°	2·114
Opium 14°	1·364
Orangenbaumholz, s. Pomeranzenbaumholz.	
Osmium, gediegen	19·50
Osmium Iridium	17·969–18·571
Ostranit	4·32 —4·40
Ozokerit, (Erdwachs) 14·5°	0·955—0·970
Packfong, (Argentan, Neusilber)	8·764
„ gegossen	8·517
„ in Draht gezogen	5·553
„ zu Blech gewalzt	8·563
Palladium, gehämmertes	12·10
„ gewalztes	11·80
„ chemisch reines	10·923
„ gediegen	12·14
Pantoffelholz, s. Korkholz.	
Papier, Schreib-	1·78
Pappelholz, gemeines	0·383
„ vollk. lufttrocken	0·387
Paradiesholz 14°	1·177
Paraffin	0·870
Pech, s. Fichtenharz.	
Pechblende	6·5 — 6·6
Pechstein 14°	2·049—2·319
Perlen, orientalische	2·750
Perlglimmer	3·032
Perlmutter 14°	2·759
Perlstein	2·380
Pfirsichbaumgummi	1·421
Pfirsichbaumholz	0·747
Pflaumenbaumholz	0·687
„ vollk. trocken	0·872
Phenakit	2·969
Phosphor	1·77
Phosphoreisen	6·700
Phosphorkupfer	7·122
Phosphorplatin	5·28
Phosphorsäure 14°	1·557
Platin, gediegen in Körnern	17·10—18·94
„ vom Ural	17·371–17·473
„ Geschiebe	17·332
„ geprägt	21·343
„ in Draht gezogen	21·74
„ mittelst Walzen gestreckt 14°	22·069
Platinschwarz	16·557
Pockholz, s. Guajakholz.	
Polierschiefer	0·590—0·606
Pomeranzenbaumholz	0·705
Porzellan, Berliner 14°	2·293
„ aus China 14°	2·385
„ von St. Cloud 14°	2·279
„ aus Meissen 14°	2·493
„ hartes von Sèvres 14°	2·146
„ französisches 14°	2·165
„ Wiener 14°	2·209—2·387
„ chinesisches Stein- 14°	2·368
Porzellanerde	2·230—2·400
Porzellanjaspis	2·330
Porphir 14°	5·765—2·793
Porphirschiefer	2·512—2·700
Purpurholz, s. Luftholz.	
Pyrop	3·788
Quarz, aus Brasilien 14°	2·653
„ rosenfarbiger 14°	2·670
„ ganz heller 14°	2·653
„ schneeweißer	2·690
„ Rauchquarz	2·651
„ Faser- 12—75°	2·608
„ Milch-	2·658
„ Rosen-	2·651—2·658
Quecksilberoxyd	11·074
Quittenbaumholz	0·705
Raseneisenstein	2·603
Rauchquarz, s. Quarz.	
Realgar, s. Schwefelarsenik.	
Rehleder 14°	1·254
Reißblei, s. Graphit.	

Körper	Spezifisches Gewicht
Retinit, (Retinasphalt)	1·07 —1·35
Rhodium, ungefähr	11·0
Rosenholz	1·125
„ vollk. lufttrocken	1·031
Rosenquarz s. Quarz.	
Rothbleierz	5·951
Rothkupfererz	5·70 —6·00
Rubin, brasilianischer 14°	3·130
„ orientalischer 14°	3·991
Rubinspath	3·454
Rüsterholz, s. Ulmenholz.	
Saalweide, frisch gefällt	0·715
„ trocken	0·529
Salmiak	1·528
„ reiner sublimirter	1·420
Salpeter s. Kali salpetersaures	
Sandarach	1·052
Sandlholz, blaues	1·200
„ gelbes	0·809
„ rothes	1·128
„ weißes	1·041
Sandstein 14°	2·085—2·621
Saphir, v. blauer Farbe 14°	3·131
„ orientalischer	4·290—4·830
„ himmelblauer 14°	3·994
„ weißer 14°	3·991
Sassafrasholz	0·482
Satinholz, vollk. lufttrocken	0·964
Schafleder 14°	1·254
Schaumkalk	2·533
Schiefer, Zeichen- 14°	2·186
„ Wetz-	2·722
Schießpulver sammt den Zwischenräumen	1·016
„ ohne Zwischenräume	1·277
Schörl	2·922—3·452
Schwarz-Bleierz	5·70
Schwarz-Eisenstein	4·14 —4·50
Schwarzgiltigerz (Melanglanz).	6·257
Schwarzkupferschlacke	4·362—4·402
Schwarzmanganerz	4·722
Schwarzpappelholz, frisch gefällt	0·779
„ trocken	0·366
Schwefel, käuflicher geschmolzen in Stangen	1·991
„ sublimirter	2·086
„ natürl. von schön zitronengelber Farbe 14°	2·033
„ brauner	1·989
Schwefelantimon 0°	4·752
Schwefelarsenik	3·313
Schwefelblei	7·759
Schwefelkies, natürliches 0°	4·90
Selen	4·30 —4·32
Selenblei	8·20 —8·80
„ silber	8·0
Serpentin	2·684
„ von Tirol	2·700
„ gemeiner 14°	2·264—2·999
„ von Zöblitz	2·560
„ edler	2·50 —2·60
Silber, 12löthiges 14°	10·474
„ gehämmert 14°	10·510
„ 12½löthiges 14°	10·175
„ in Kronthalern 14°	10·106-10·227
„ „ Speziesthalern 14°	10·196-10·227
„ „ Zwanzigkreuzern 14°	9·217-10·106
„ gediegen	10·472
Silberglanz	6·9 — 7.20
Silberoxyd 13·33°	7·143
Smalte, (kobaltartiges Glas) 14°	2·440
Smaragd	2·777
Spatheisenstein	3·829
Speck 14°	0·948
Speckstein	2·609
Speiskobalt	6·4 — 6·6
Spießglanz s. Antimon.	
Spinell	3·570
Stärkmehl, s. Amylon.	
Stahl, weicher 14°	7·833
„ in Wasser gehärtet 14°	7·816
„ gehämmert 14°	7·840
„ Guß-	7·919
„ engl. feinster	7·852
„ mit 3 pCt. Nickel	7·750
„ „ 10 „ „	7·684
„ „ 1 „ Gold	7·870
„ „ 1½ „ Platin	7·732
„ „ 10 „ „	8·100
„ „ gleichen Thl. Platin	9·862
„ „ 4/5 pCt. „	15·58
„ „ 1½ „ Rhodium	7·795
„ „ 2 „ Silber	7·808
Stearine, aus Olivenöl 12°	0·968
Stechpalmenholz	0·602
Steinkohlen, Backkohle	1·269
„ Blätterkohle	1.27 —1·34
„ Braunkohle	1·00 —1·40
„ Fackelkohle	1·165
„ Glanzkohle s. Anthrazit.	
„ Grobkohle	1·45 —1·60
„ Kannelkohle	1·21 —1·27
„ Moorkohle	1·20 —1·30
„ Newcastle-coal	1·204
„ Pechkohle	1.29— 1·35
„ Schwarzkohle	1·15 —1·50
„ Scotsch-coal	1·140

Körper	Spezifisches Gewicht
Steinkohle, Splitterkohle	1·290
„ Stony Creek-coal	1·396
Steinsalz	2·257
Strahlerz	4·192
Strahlkies	4·678
Strahlstein	3·026
Straß	3·5 —3·60
Strontian	3·0 —4·0
„ kohlensaurer . . 0°	3·624
„ salpetersaurer . 0°	2·890
„ salzsaurer	1·440
„ schwefelsaurer . . 0°	3·588
Süßerde	2·967
Talg, Hammel-, s. Fett.	
Talk, apfelgrüner	2·740
„ blättriger	2·714
Tannenholz, Roth-	0·447
„ frisch gefällt	0·870
„ vollk. lufttrocken	0·481
Tellur, gediegen	6·115
„ gereinigtes	6·138
Tellurerz	6·84
Thon, wie er in der Natur vorkommt, bei 30—40° R. getrocknet	2·591
„ erdiger Töpferthon	2·085
Thonerde, natürliche	4·00
„ essigsaure	1·245
„ kohlensaure	1·118
„ schwefelsaure . . 0°	2·740
Thonmergel	2·666
Thonstein	2·210
Thonerde	9·402
Titan . 14°	4·180—8·000
Titaneisen	4·62 —4·89
Topas, durchs. Krystalle	3·499
„ brasilianischer . 14°	3·536
„ orientalischer . 14°	4·010
„ sächsischer . 14°	3·564
Torf	1·413
Tragantgummi . 14°	1·316
Trapp	2·780—3·021
Tripel	1·00 —2·20
Tropfstein . 14°	2·323
Tulpenbaumholz	1·070
Turmalin, dunkelpistaziengrün	3·076
„ dichromatischer	3·053—3·060
„ schwarzer von Bovay.	3·246
„ von Eibenstock	3·123
„ Ceylon	3·118—3·119
„ Grönland	3·062
Ulmenholz	0·646
„ frisch gefälltes	0·948
„ vollk. lufttrocken	0·568
Uralitporphyr	3·100

Körper	Spezifisches Gewicht
Uran	9·00
Uranglimmer	3·115
Uranpecherz	6·60
Vesuvian	3·450
„ von Mussa . 14°	3·30
„ „ Piemont	3·873—3·390
„ „ Vesuv	3·312—3·379
„ lichtbrauner	3·389
Wachholderholz, trockenes	0·556
Wachs, Bienen-, gelbes	0·960
„ weißes	0·966
Wacke	2·535—2·893
Walkerde . 14°	2·583
Wallnußbaumholz, v. lufttrock.	0·660
Wallrath, (Sperma Cet.)	0·928
Weidenholz	0·585
„ frisch gefälltes	0·9859
„ trockenes	0·487
Weinreben	1·3270
Weinstein, roher	1·849
Weißdornholz, vollk. lufttrock.	0·871
Weißkupfererz	4·4 —4·50
Weizenmehl	1·560
Wismuth	9·397
„ geschmolzen	9·670
„ gehämmert	9·883
„ gediegen . 14°	9·020
Wismuthblende	5·912—6·006
Wismuthoxyd	8·968
Wolfram . 14°	17·60
Wootz	7·665
Yttererde	4·842
Zebraholz, vollk. lufttrocken	1·073
Zink, geschmolzen	6·862
„ gehämmert	7·861
Zinkblende	4·007
Zinkblüthe	3·35
Zinkerz, roth	6·220
Zinkoxyd	5·600
Zinn, möglichst rein . 12°	7·291
„ gehämmert . 14·22°	7·600
„ aus Böhmen . 14°	7·312
„ chinesisches, japanesisches oder ostindisches . 14°	7·296
„ aus Cornwallis . 14°	7·291
Zinnchlorid	2·25
Zinnchlorür	2·293
Zinnerz	6·960
Zinnober	8·124
„ natürl. brauner . 14°	10·218
„ rother	6·188
Zinnoxyd	6·900
Zirkonerde	4·30
Zucker, krystallisirter . 12°	1·405—1·606
„ brauner . 12°	1·585

B. Spezifisches Gewicht tropfbarer Körper.

(Zu Seite 30.)

Anmerkung. Die den Namen der Körper zunächst stehenden Zahlen bedeuten die Temperatur, auf welche sich das spezifische Gewicht bezieht. Alle andern spezifischen Gewichte beziehen sich auf mittlere Temperatur.

Körper	Spezifisches Gewicht
Acetal 16°	0·823
Ackermünzenöl 14°	0·912
Aethersäure, (Aldehydsäure)	1·015
Aldehyd	0·790
Ale, (englisches Bier) 12·44°	0·989
Alkohol, absoluter 16°	0·791
Ameisenäther 14·4°	0·9157
Anisöl 14°	0·987
„ altes 20°	0·985
„ frisch bereitetes 20°	0·979
Apfelmost 12°	1·058
Apfelwein, Cider 12·44°	0·987
Baldrianöl 20°	0·934
Bergamottenöl	0·880
Bergnaphtha, Bergöl siehe Steinöl.	
Bergtheer	1·100
Bernsteinöl, gelbes 14°	0·886
„ rothes	0·964
Bier, ungefähr 12°	1·023—1·034
Birnmost 12°	1·055
Birnwein 12·44°	0·987
Bittermandelöl s. Mandelöl.	
Blausäure, reine 14·4°	0·697
Blut, vom Menschen 12°	1·053—1·057
Blutwasser, von menschlichem Blute 14°	1·024—1·032
Bordeauxwein 12·44°	0·983
Brom	2·966
Bromal	3·340
Burgunderwein 12·44°	0·985
Buttermilch 14°	1·037
Cajeputöl 7°	0·978
Calmusöl 20°	0·899
Cautschouköl, flüchtiges	0·870
Capwein, rother	1·018
„ weißer	1·039
Cascarillenöl 20°	0·938
Cassiaöl	1·056
Castoröl	0·954
Cedernöl, s. Citronenöl.	
Chamillenöl	0·924
Champagnerwein, rother 12·44°	0·986
„ weißer	0·9620
Chloral, wasserfreies 14·4°	1·502
Chlorsäure	1·30
Chlorstickstoff 12°	1·653
Chlorwasser, gesättigtes 4·8°	1·003
Cider, s. Apfelwein.	

Körper	Spezifisches Gewicht
Citronenöl, destillirtes 14·4°	0·856
Copaivabalsam 12·5°	0·992
Capaivabalsamöl 17·6°	0·878
Coriandersamenöl 14°	0·865
Cubebenöl 5°	0·936
Dadyl	0·870
Delphinöl 16°	0·924
Delphinthran 12·8°	0·937
Dillöl	0·881
Dipelsöl, s. Thieröl.	
Eiweiß, vom Hühnerei 14°	1·041
Elaeine, s. Oleine.	
Erdmandelöl	0·918
Essig, (Weinessig) rother 14°	1·013
Essigsäure, (Radicalessig) 14°	1·063—1·070
Färber-Wauöl 12°	0·936
Feldkümmelöl, s. Quendelöl.	
Fenchelöl 16°	0·896
Fichtensamenöl 12°	0·931
Fischthran 14°	0·923
Fluorwasserstoffsäure, concentrirte 12°	1·061
Flußsäure, s. Fluorwasserstoffsäure.	
Franzwein	1·020
Frauennachtviolenöl 12°	0·928
Fruchtessig	1·004
Fuselöl, wasserhältiges 12·6°	0·823
Galbanumöl 15°	0·912
Gewürznelkenöl s Nelkenöl.	
Glycerin, vollk. rein 8°	1·270
Hanföl 14°	0·926
Haselnußöl 14°	0·916
Holzessiggeist	0·750
Holzessigsäure, concentrirte	1·057
„ rohe, braune	1·049
„ rectificirte	1·042—1·049
Holzgeist, s. Holzessiggeist.	
Honig, guter 14°	1·450
Hopfenöl 12·5°	0·946
Hydriotsäure, wasserhaltende	1·70
Hydrochlorsäure, s. Salzsäure	
Hydrofluorborsäure	1·77
Jodäther 12·44°	1·340
Kalilösung, concentrirteste 12°	1·540
Kirschkernöl 12°	0·923
Kohlensäureäther 15·2°	0·975
Korköl, flüchtiges	4·392
Krausemünzenöl 12·5°	0·969
Kreosot 16°	1·037

Körper	Spezifisches Gewicht	Körper	Spezifisches Gewicht
Kümmelöl 14°	0·905	Oeleine aus Menschenfett 12°	0·913
Kürbisöl 12°	0·923	„ „ Olivenöl 12°	0·915
Kuhmilch, gewöhnliche 14°	1·033	„ „ Rindstalg 12°	0·913
„ abgerahmte 14°	1.037	Olivenöl, gelbes gewöhnli-	
Lavendelöl, frisch 16°	0 898	ches 17° 2	0·918
„ rectificirt 16°	0·877	„ grünes 12°·5	0 913
Leberthran 15°	0·921	„ weißes 12°·5	0·927
Leberthranöl 12°·5	0 906	„ gutes Provenceöl 17°.3	0·905
Leindotteröl 12°	0 925	Orangenblüthenöl 16°	0·852
Leinöl 17°·4	0·929	Orangenschalenöl	0·888
Limetteöl	0·931	Palmöl, s. Ricinusöl.	
Lissaboner Wein 12°·44	0·978	Perubalsam 12°·5	1·475
Löffelkrautöl 14°	0 943	Perubalsamöl	1 084
Lutter	0·977—0·991	Petersilienöl 12°·5	1·015
Madeirawein 14°	1·038	Petroleum, s. Steinöl.	
Maisöl	0 954	Pfeffermünzenöl 14°	0·920
Malagawein 12° 44	0·980	Pfirsichblätteröl	1·30
Malvoisierwein	1·033	Pflaumenkernöl 12°	0 912
Mandelöl, von süßen Mandeln	0·911	Portwein 12° 44	0·974
Marsalawein 12°·44	0·982	Quecksilber 3°·5	13·586
Meccabalsam, echter 18°	0 950	„ gediegen 0°	13 596
Meccabalsamöl	0·876	„ reinstes 5mal destillirt,	14·110
Meerwasser, vom arctischen		„ gefrornes	14 391
Polarmeer	1·025	Quendelöl 12°·5	0·950
„ vom Aequator	1·028	Radicalessig, s. Essigsäure.	
„ des nördl. atlantischen		Rahm, gewöhnlicher 14°	1·025
Meeres	1·029	Rainfarnöl 9°	0 915
„ des südlich. atlantischen		Rapsöl, s Rüböl.	
Meeres	1 028	Regenwasser 14°	1·0001-1 0013
„ vom Marmora-Meere	1·020	Rebsöl, s. Rüböl.	
„ „ mittelländ. „	1·027	Rheinwein 12°·44	0·982
„ von der Ostsee	1·005	Ricinusöl	0·954
„ vom Polarmeere	1·027	Rosenöl 26°	0 832
„ „ schwarzen Meere	1 014	Rosinenwein 12°·44	0 972
„ „ todten Meere	1·211	Rosmarinöl, frisch ausgezo-	
„ der südlich. Hemisphäre		gen 12°	0·910
im Durchschnitte	1 029	„ rectificirt 9°·6	0·890
Melissenöl	0·855	Roßkastanienöl 8°	0 927
Mesit vgl. Holzessiggeist 14°·4	0·805	Rüböl, käufliches 12°	0·916 - 0·917
Möhrenöl 9°	0·886	„ gereinigtes 12°·5	0·915
Mohnöl 12°·5	0 912	Sadebaumöl 12°·5	0 915
Molken, Kuhmilch 14°	1 027	Saft, der Weinreben 12°	1·002
Moselwein	0·916	„ des Zuckerrohrs	1 05
Münzenöl 14°	0 898	„ der Erdäpfel	1·099
Muskatblüthenöl 16°	0·926	Salbeiöl 14°	0·902
Muskatnußöl 16°	0·846	Salmiakgeist 12° 44	0 891
Muskatwein 12°·44	0·979	Salpeteräther 3°·2	0·886
Naphtha, s. Steinöl.		Salpetersäure	1·22
Nelkenöl 16°	1·035	„ concentrirte, reine	
„ käufliches 18°	1·061	12° 4	1·500
„ rectificirtes 18°	1·055	Salzsäure, concentrirteste 14°	1·205
Obstwein	1·034	Sassafrasöl	1'082
Oelrettigöl 12°	0·918	Schafgarbenöl 12°·5	0·852
Oeleine, aus Gänsefett 12°	0·929	Schafmilch 14°	1·034
„ aus Hammelstalg 12°	0·916	Schwefeläther 14°	0 710

Körper	Spezifisches Gewicht
Schwefelalkohol, s. Schwefelkohlenstoff.	
Schwefelkohlenstoff . . 16°	1·263
Schwefelsäure, englische 14°	1·842
„ Nordhäuser . . . 12°	1·860
Senföl . . . . 12°	0 917
Serum, s. Blutwasser.	
Steinkohlentheer	1·109
Steinöl, persisches	0·753
„ weißes . . . . 12°·5	0·845
„ gew. rothes	0 851
„ rectificirtes . . . 10°	0·781
Sternanisöl . . . . . 14°	0·982
Tabaksamenöl . . . . . 12°	0 923
Tannensamenöl . . . 6°	0·934
Terpentinöl, nicht rectificirtes . . . . . 12°·5	0·891
„ rectificirtes . . 17°·6	0 86
Theeöl	0·927
Theer, vergl. Steinkohlentheer . . . . . 12°·5	1·102
Thieröl . . . . 12°·5	0·893
Thymianöl . . . . . 14°.4	0·893
Tokayerwein . . . 12°·44	0·987
Tollkirschensamenöl . . 12°	0·925
Wachholderöl	0·853
Wachsöl . . . . 9°	0·750
Wallnußöl . . . . 70°·5	0·912
Wasser . . . . 3°	1·000
Wasserglas	1.250
Weinöl	1·133
Wermuthöl	0·895
Wurmsamenöl	0·912
Xereswein . . . . 12°·44	0·978
Ysopöl . . . . 14°	0 889
Ziegenmilch	1·009
Zimmtcassiaöl . . . . 16°	1,056
Zimmtöl	1·035

C. Spezifische Gewichte der Gase und Dämpfe

(Zur Seite 30 und 277.)

Körper	Spezifisches Gewicht
Alkoholdampf, berechnet . .	1·595
„ beobachtet . 62°·72	1·613
Arsenikdampf, beobachtet . .	10·6
„ berechnet	10·365
Arsenikwasserstoffgas, beob.	2 695
„ berechnet	2·694
Azot, s. Stickstoffgas.	
Benzindampf, beobachtet .	2·77
„ berechnet . . .	2·738
Benzoeäther . . . . . 8°·4	1·054
Benzoeätherdampf, beob. 8° 4	5·409
„ berechnet	5·45
Blausäuredampf, beob. 21°·2	0·948
„ berechnet	0·936
Bordampf, berechnet . . .	0·749
Bromdampf	5·393
Bromkohlenwasserstoffdampf, beobachtet . . . 0°	6·37
Bromwasserstoffgas, berechnet	2·731
Chlor, s. Chlorgas.	
Chlorätherdampf, beobachtet	3·46
„ berechnet	3 448
Chloraldampf, beobachtet .	5 05
Chlorammonium, s. Salmiak.	
Chlorborgas, beobachtet . .	3·94[illegible]
„ berechnet	4·035
Chlorcyandampf, berechnet .	2·111
Chlorgas, beobachtet . . .	2·470
„ berechnet	2·416
Chlorkohlenoxydgas, beobacht.	3·669
„ berechnet	3·425
Chlorkohlenstoffgas	3·472
Chloroformdampf, beobachtet	4·199
„ berechnet	4·113
Chloroxydgas	2·315
Chloroxydulgas, berechnet .	2·444
„ beobachtet	2·409
Chlorschwefeldampf	4·70 — 4·75
„ berechnet	4 658
Chlorsiliciumdampf, beobacht.	3·600
„ berechnet	3·598
Chlorwasserstoffgas, beobacht.	1·247
„ berechnet	1·250
Cyangas, beobachtet . . .	1·806
„ berechnet	1·805
Essigätherdampf, beobachtet	3·067
Fluorborgas, beobachtet . .	2·362
„ berechnet . . .	2 307
Fluorphosphorgas, s. Phosphorfluoridgas.	
Fluorsiliciumgas, beobachtet	3 600
„ berechnet . . .	3·605
Fluorwasserstoffsäure, concentrirte . . . . . 12°	1 061
„ beobachtet	2 369
„ gasförm. berechnet	0·659
Flußsaures Gas, s. Fluorwasserstoffsäure.	

Körper	Spezifisches Gewicht
Fuselöldampf, beobachtet · ·	3·147
„ berechnet · · · ·	3 072
Holzessiggeistdampf, beobachtet	2·998 – 3·006
Hydriotätherdampf, beobachtet	5·475
„ berechnet · · · ·	5·373
Hydrochlorätherdampf, beobachtet · · · · 14° 4	2·219
„ berechnet · · · ·	2 257
Hydrothionsäure, s. Schwefelwasserstoffgas.	
Jod-Aldehydendampf, beobach.	4:78
„ berechnet · ·	5 296
Jodarsenikdampf, beobachtet	16·1
„ berechnet · · ·	15 64
Joddampf, beobachtet · · ·	8·788
„ berechnet · · ·	8 619
Jodkohlenwasserstoffdampf 0°	9·697
Jodwasserstoff, s. Hydriotsäure	
Kiselfluor, s Fluorsilicium-Gas.	
Kohlenoxydgas, beobachtet ·	0·924
„ berechnet · · · ·	0·972
Kohlensaures Gas, beobachtet	1·524
„ berechnet · · ·	1·529
Kohlenstoffgas, berechnet ·	0·422
Kohlenwasserstoffgas, ölbildendes Gas, beobachtet	0 571
„ berechnet · · · ·	0·559
Naphthalindampf · · · ·	4·528
Oelbildendes Gas, beobachtet	0·974
„ berechnet · · · ·	0·972
Oelgas · · · · · 18°·67	0·696
Oxalätherdampf, beobachtet ·	5·087
Paranaphthalindampf, beob.	6·741
Phosgengas, s. Chlorkohlenoxydgas.	
Phosphordampf, beobachtet ·	4·420
„ berechnet · · · ·	4·326
Phosphorfluoridgas · · ·	5·939
Phosphorwasserstoffgas, entzündliches · · · ·	0·852
„ beobachtet · · · ·	1·175—1 22
„ berechnet · · · ·	0·575
Phosphorwasserstoffgas, unentzündliches · · ·	
„ beobachtet · · · ·	1·214
„ berechnet · · · ·	1·027
Quecksilberbromiddampf, beob.	12 16
„ berechnet · · · ·	12·373
Quecksilberbromürdampf, beobachtet · · · · ·	10·14
„ berechnet · · · ·	9·675
Quecksilberchloriddampf, beobachtet · · · ·	9·8
„ berechnet · · ·	9 42

Körper	Spezifisches Gewicht
Quecksilberchlorürdampf, beobachtet · · · · ·	8·35
„ berechnet · · ·	8·20
Quecksilberdampf, beobachtet	6·976
„ berechnet · · · ·	6 978
Quecksilberjodiddampf, beob.	15·6 — 16 2
„ berechnet · · · ·	15·68
Salmiak · · · · · · · ·	1·528
Salpeterätherdampf, beobacht.	2·627
„ berechnet · · · ·	2·606
Salpetergas, s. Stickstoffoxydgas.	
Salpetrigsaurer Dampf, be-	2·427
obachtet · · · · ·	3·1812
„ berechnet · · · ·	
Salzätherdampf, s. Hydrochlorätherdampf.	
Salzsaures Gas, s. Chlorwasserstoffgas.	1·106
Sauerstoffgas beobachtet · ·	1·111
berechnet · · · ·	
Schwefelätherdampf, beobach-	2 586
tet · · · 28°·52	2·569
„ berechnet · · · ·	
Schwefeldampf, beobachtet	6·617
14°·4	6·654
„ berechnet · · · ·	
Schwefelkohlenstoffdampf, be-	2·644
obachtet · · · · ·	2·638
„ berechnet · · · ·	3·0
Schwefelsäuredampf, beob.	2·763
„ berechnet · · ·	
Schwefelwasserstoffgas, (Hydrothionsäure) beob-	1 106
achtet · · · · · ·	1·150
„ berechnet · · · ·	2·193
Schwefligsaures Gas, beob.	2·207
„ berechnet · · ·	
Selenige Säure-Dampf, beob.	4·03
Steinkohlengas, durch Destillation · · · ·	0 740
Steinöldampf, beobachtet · ·	2·833
Stickstoffgas, beobachtet · ·	0·969
„ berechnet · · · ·	0 971
Stickstoffoxydgas, beobachtet	1 037
„ berechnet · · · ·	1 036
Stickstoffoxydulgas, beob. ·	1·614
„ berechnet · · ·	1·525
Terpentinöldampf, beobachtet	4 764—4·765
Titandampf, berechnet · · ·	2·107
Urethandampf · · · · 12°·8	3·14
Wasserdampf, beobachtet 80°	0·623
„ berechnet · · · ·	0 624
Wasserstoffgas, beobachtet ·	0·0698-00699
„ berechnet · · · ·	0·069

VIII. Tabelle.

Länge des Sekundenpendels an verschiedenen Orten.

(Zur Seite 109.)

Orte	Breitengrade			Pendel-Längen	Orte	Breitengrade			Pendel-Längen
				m.m					m.m
Malvinen · · · ·	51°	35′	18″	994·0657	Barcellona · · · ·	41°	23′	15″	993·2321
" · · · · ·	51	31	44	994·1295	Toulon · · · · ·	43	7	20	993·3652
Kap d. g. Hoffnung	33	55	56	992·5887	Figeac · · · · · ·	44	36	45	993·4578
" " " "	33	55	15	992·5677	Bordeaux · · · · ·	44	50	26	993·4529
Port Jackson · · ·	33	51	34	992·6260	Fiume · · · · · ·	45	19	0	993·5841
" " · · ·	33	51	39	992·5879	Padua · · · · · ·	45	24	3	993·6073
Paramatta · · · ·	33	48	43	992·5590	Mailand · · · ·	45	28	1	993·5476
" · · · ·	33	48	43	992·5730	Clermont Fer. · · ·	45	46	48	993·5823
Valparaiso · · · ·	33	2	30	992·5178	Paris · · · · · ·	48	50	14	993·8462
Rio de Janeiro · · ·	22	55	13	991·6956	" · · · · · ·	"	"	"	993·8668
" " " · · ·	22	55	22	991·7137	" · · · · · ·	"	"	"	993·8606
" " " · · ·	22	55	22	991·7170	Sfanklin-Farm. · ·	50	37	24	994·0470
Isle de France · · ·	20	9	40	991·7707	Dünkirchen · · · ·	51	2	10	994·0804
St. Helena · · · ·	15	54	59	991·6035	London · · · · · ·	51	31	8	994·1234
Bahia · · · · · ·	12	59	21	991·2203	Arbury-Hill · · · ·	52	16	55	994·2275
Ascension · · · ·	7	55	48	991·1948	St. Peter u. Paul ·	53	0	53	994·3734
" · · · ·	7	55	9	991·1824	Clifton · · · · · ·	53	27	43	994·3016
Maranham · · · ·	2	31	43	990·8975	Altona · · · · · ·	53	32	45	994·3520
Rawak · · · · ·	0	1	34	990·9466	Königsberg · · · ·	54	42	50	994·4099
St. Thomas · · ·	0	24	21	991·1109	Forth-Leith · · · ·	55	58	37	994.5352
Gallopagos-Insel ·	0	32	19	991·0403	" " · · · ·	"	"	"	994·5310
Ualan · · · · · ·	5	21	16	991·3043	Sitka · · · · · ·	57	2	58	994·6200
Sierra-Leone · · ·	8	29	28	991·1073	Portsoy · · · · ·	57	40	59	994·6906
Trinidad · · · · ·	10	38	56	991·0609	Stockholm · · · ·	59	20	43	994·8059
Madras · · · · ·	13	4	9	991·2723	Petersburg · · · ·	59	56	21	994·9100
Guahan · · · · ·	13	26	21	991·4277	Brassa · · · · · ·	60	9	42	994·9985
Guam-Inseln · ·	13	27	51	991·4520	Unst · · · · · ·	60	45	25	994·9384
Jamaika · · · ·	17	56	7	991·4725	" · · · · · · · ·	"	"	"	994.9457
Movi · · · · · ·	20	52	7	991·7850	Drontheim · · · ·	63	25	54	995·0132
San Blas · · · ·	21	32	24	991·5633	Have-Island · · ·	70	26	17	995·6370
" " · · · ·	21	32	24	991·5903	Hammerfest · · · ·	70	40	5	995·5312
Boni · · · · ·	27	4	12	992·3773	Port-Bowen · · ·	73	13	39	995·7724
Lipari · · · · · ·	38	28	37	993·0792	Grönland · · · ·	74	32	19	995·7465
Formentera · · · ·	38	39	56	993·0697	Melville · · · · ·	74	47	12	995·8560
New-York · · · ·	40	42	43	993·1586	Spitzbergen · · · ·	79	49	58	996·0359

IX. a. Tabelle.

Reduktion des Barometerstandes auf die Normaltemperatur

nach der Formel $L = L_1 \left(1 \mp \frac{t}{5550}\right)$, wo L_1 der beobachtete Barometerstand und t die Temperatur des Quecksilbers im Barometer bei der Beobachtung ist.

(Zu Seite 250.)

In dieser Tabelle enthält die erste vertikale Spalte den beobachteten Barometerstand, und die übrigen Vertikalspalten enthalten die Correktionen in Millimetern d. i. die Anzahl Millimeter, die von den beobachteten Barometerständen abgezogen oder zu denselben addirt werden müssen, jenachdem die in der obersten Horizontalspalte enthaltenen Celsius'schen Temperaturgrade des Quecksilbers, während der Barometerstand beobachtet wurde, über oder unter 0° bedeuten. Wurde z. B. der Barometerstand 750 Millim. bei 15° C. des Quecksilbers beobachtet, so ist der corrigirte Barometerstand 750m.m — 2·027m.m.

Barometerstand in Millimet.	Temperatur, nach Celsius.											
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m
400	0·072	0·144	0·216	0·288	0·360	0·432	0·504	0·577	0·649	0·721	0·793	0·865
10	0·074	0·148	0·221	0·295	0·369	0·443	0·516	0·591	0·665	0·739	0·813	0·886
20	0·076	0·152	0·227	0·302	0·378	0·454	0·529	0·606	0·681	0·757	0·833	0·908
30	0·078	0·155	0·232	0·309	0·387	0·465	0·541	0·620	0·697	0·775	0·853	0·930
40	0·079	0·158	0·238	0·316	0·396	0·476	0·554	0·635	0·714	0·793	0·873	0·952
50	0·081	0·162	0·243	0·324	0·405	0·486	0·567	0·649	0·730	0·811	0·892	0·973
60	0·083	0·166	0·248	0·331	0·414	0·497	0·580	0·663	0·746	0·829	0·912	0·994
70	0·085	0·170	0·254	0·338	0·423	0·508	0·593	0·678	0·762	0·847	0·932	1·016
80	0·087	0·173	0·259	0·345	0·432	0·519	0·605	0·692	0·778	0·865	0·952	1·038
90	0·088	0·176	0·264	0·352	0·441	0·530	0·618	0·707	0·795	0·883	0·972	1·060
500	0·090	0·180	0·270	0·360	0·450	0·540	0·630	0·721	0·811	0·901	0·991	1·081
10	0·092	0·184	0·275	0·367	0·459	0·551	0·642	0·735	0·827	0·919	1·011	1·102
20	0·094	0·188	0·281	0·373	0·468	0·562	0·655	0·750	0·843	0·937	1·031	1·124
30	0·096	0·191	0·287	0·380	0·477	0·573	0·667	0·764	0·860	0·955	1·051	1·146
40	0·098	0·194	0·292	0·387	0·486	0·584	0·680	0·779	0·876	0·973	1·071	1·168
50	0·099	0·198	0·297	0·396	0·495	0·594	0·693	0·793	0·892	0·991	1·090	1·189
60	0·101	0·202	0·302	0·403	0·504	0·605	0·705	0·807	0·908	1·009	1·110	1·210
70	0·103	0·206	0·308	0·410	0·513	0·616	0·718	0·822	0·924	1·027	1·130	1·232
80	0·105	0·209	0·313	0·418	0·522	0·627	0·730	0·836	0·940	1·045	1·150	1·253
90	0·106	0·212	0·319	0·425	0·531	0·638	0·743	0·850	0·956	1·063	1·170	1·275
600	0·108	0·216	0·324	0·432	0·540	0·648	0·757	0·865	0·973	1·081	1·189	1·297
10	0·110	0·220	0·330	0·439	0·549	0·659	0·769	0.879	0·989	1·099	1·209	1·318
20	0·112	0·224	0·335	0·446	0·558	0·670	0·781	0·894	1·005	1·117	1·229	1·340
30	0·115	0·227	0·341	0·454	0·567	0·681	0·794	0·908	1·022	1·135	1·249	1·362
40	0·116	0·230	0·346	0·461	0·576	0·692	0·807	0·922	1·038	1·153	1·269	1·383
50	0·117	0·234	0·351	0·469	0·585	0·702	0·819	0·937	1·054	1·171	1·288	1·405
60	0·119	0·238	0·356	0·476	0·594	0·713	0·831	0·951	1·070	1·189	1·308	1·426
70	0·121	0·241	0·362	0·484	0·603	0·724	0·844	0·966	1·086	1·207	1·328	1·448
80	0·123	0·245	0·367	0·491	0·612	0·735	0·856	0·980	1·103	1·225	1·348	1·470
90	0·124	0·249	0·373	0·498	0·621	0·746	0·869	0·995	1·119	1·243	1·368	1·492
700	0·126	0·252	0·378	0·505	0·631	0·757	0·883	1·009	1·1 5	1·261	1·387	1·514
10	0·128	0·256	0·383	0·512	0·640	0·768	0·896	1·023	1·151	1·279	1·407	1·536
20	0·130	0·259	0·389	0·520	0·649	0·779	0·908	1·038	1·167	1·297	1·427	1·557
30	0·132	0·263	0·394	0·527	0·658	0·790	0·921	1·052	1·183	1·315	1·447	1·580
40	0·134	0·267	0·400	0·534	0·667	0·800	0·933	1·067	1·200	1·333	1·467	1·600
50	0·135	0·270	0·405	0·541	0·676	0·812	0·946	1·081	1·216	1·351	1·486	1·622
60	0·137	0·274	0·410	0·548	0·685	0·822	0·959	1·095	1·232	1·379	1·506	1·644
70	0·139	0·277	0·416	0·556	0·694	0·833	0·971	1·110	1·249	1·397	1·526	1·665
80	0·141	0·281	0·421	0·563	0·703	0·844	0·984	1·124	1·265	1·405	1·546	1·687
90	0·143	0·284	0·427	0·570	0·712	0·855	0.997	1·139	1·280	1·423	1·566	1·708

Barometerstand in Millimet.	Temperatur, nach Celsius.											
	12°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°
	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m
400	0·937	1·009	1·081	1·153	1·225	1·297	1·369	1·441	1·513	1·585	1·657	1·729
10	0·960	1·034	1·108	1·182	1·255	1·330	1·403	1·477	1·551	1·624	1·698	1·772
20	0·984	1·059	1·135	1·211	1·286	1·362	1·437	1·513	1·589	1·664	1·740	1·815
30	1·007	1·084	1·162	1·240	1·316	1·395	1·471	1·549	1·627	1·703	1·781	1·859
40	1·030	1·109	1·189	1·269	1·347	1·427	1·515	1·585	1·664	1·743	1·822	1·902
50	1·054	1·135	1·216	1·297	1·378	1·459	1·540	1·621	1·703	1·782	1·864	1·946
60	1·077	1·160	1·243	1·326	1·409	1·491	1·574	1·657	1·740	1·822	1·906	1·989
70	1·100	1·185	1·270	1·355	1·440	1·524	1·608	1·693	1·777	1·862	1·948	2·032
80	1·123	1·210	1·297	1·383	1·470	1·556	1·642	1·729	1·815	1·901	1·989	2·075
90	1·147	1·235	1·326	1·412	1·500	1·589	1·676	1·765	1·853	1·941	2·030	2·118
500	1·171	1·261	1·351	1·441	1·531	1·621	1·711	1·802	1·891	1·981	2·071	2·161
10	1·194	1·286	1·378	1·470	1·561	1·653	1·745	1·838	1·929	2·021	2·112	2·204
20	1·218	1·311	1·405	1·499	1·592	1·686	1·779	1·874	1·967	2·060	2·154	2·247
30	1·241	1·336	1·432	1·528	1·623	1·718	1·813	1·910	2·005	2·100	2·195	2·291
40	1·264	1·361	1·459	1·557	1·653	1·751	1·847	1·946	2·043	2·140	2·237	2·334
50	1·288	1·387	1·486	1·586	1·684	1·783	1·882	1·982	2·080	2·179	2·278	2·377
60	1·311	1·412	1·513	1·615	1·715	1·816	1·916	2·018	2·119	2·219	2·320	2·421
70	1·334	1·437	1·540	1·644	1·746	1·848	1·950	2·054	2·156	2·258	2·361	2·464
80	1·358	1·462	1·567	1·673	1·777	1·871	1·984	2·090	2·194	2·298	2·403	2·507
90	1·382	1·487	1·594	1·702	1·807	1·903	2·019	2·126	2·232	2·338	2·444	2·551
600	1·405	1·513	1·621	1·730	1·838	1·946	2·054	2·162	2·270	2·378	2·486	2·594
10	1·428	1·538	1·648	1·759	1·869	1·978	2·089	2·198	2·307	2·417	2·527	2·637
20	1·451	1·563	1·675	1·788	1·900	2·011	2·123	2·234	2·345	2·457	2·568	2·680
30	1·474	1·588	1·702	1·817	1·930	2·043	2·157	2·270	2·383	2·497	2·610	2·724
40	1·498	1·613	1·729	1·846	1·960	2·076	2·191	2·306	2·421	2·536	2·651	2·767
50	1·522	1·639	1·756	1·875	1·991	2·108	2·225	2·342	2·459	2·576	2·692	2·810
60	1·545	1·664	1·783	1·904	2·022	2·140	2·259	2·378	2·496	2·616	2·734	2·854
70	1·569	1·689	1·810	1·933	2·053	2·173	2·294	2·414	2·534	2·655	2·776	2·897
80	1·592	1·714	1·837	1·962	2·084	2·206	2·328	2·450	2·572	2·695	2·818	2·941
90	1·616	1·740	1·864	1·991	2·114	2·238	2·362	2·486	2·610	2·734	2·859	2·984
700	1.640	1·766	1·892	2·019	2·145	2·271	2·397	2·523	2·648	2·774	2·900	3·027
10	1·663	1·791	1·919	2·048	2·176	2·303	2·431	2·560	2·686	2·813	2·941	3·070
20	1·687	1·816	1·946	2·077	2·206	2·336	2·465	2·596	2·723	2·853	2·983	3·113
30	1·710	1·841	1·973	2·106	2·237	2·368	2·498	2·632	2·761	2·892	3·024	3·157
40	1·733	1·866	2·000	2·134	2·268	2·400	2·533	2·668	2·799	2·932	3·065	3·200
50	1·757	1·892	2·027	2·163	2·298	2·433	2·568	2·702	2·837	2·972	3·107	3·244
60	1·780	1·917	2·054	2·192	2·329	2·466	2·602	2·738	2·875	3·012	3·148	3·287
70	1·804	1·942	2·081	2·221	2·360	2·500	2·636	2·774	2·913	3·052	3·190	3·330
80	1·827	1.967	2·108	2·250	2·390	2·532	2·671	2.810	2·951	3·091	3·231	3·373
90	1·850	1·992	2·135	2·289	2·420	2·564	2·705	2·846	2·989	3·131	3·273	3·417

Barometerstand in Metern.	Temperatur, nach Celsius.							
	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°
	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m
400	1·801	1·873	1·945	2·017	2·089	2·162	2·234	2·306
10	1·846	1·920	1·993	2·067	2·141	2·216	2·290	2·363
20	1·891	1·967	2·042	2·118	2·193	2·270	2·346	2·421
30	1·936	2·014	2·090	2·168	2·246	2·324	2·402	2·479
40	1·981	2·060	2·139	2·219	2·298	2·378	2·458	2·536
50	2·026	2·107	2·188	2·269	2·350	2·432	2·513	2·594
60	2·071	2·154	2·236	2·319	2·402	2·486	2·569	2·652
70	2·116	2·200	2·285	2·370	2·454	2·540	2·625	2·709
80	2·161	2·247	2·333	2·420	2·507	2·594	2·681	2·767
90	2·206	2·294	2·382	2·471	2·559	2·648	2·737	2·824

Barometerstand in Metern.	Temperatur, nach Celsius.							
	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°
	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m	m.m
500	2·251	2·341	2·431	2·521	2·612	2·702	2·792	2·882
10	2·296	2·388	2·480	2·571	2·664	2·756	2·848	2·940
20	2·341	2·435	2·528	2·622	2·716	2·810	2·904	2·997
30	2·386	2·482	2·577	2·672	2·769	2·864	2·960	3·055
40	2·431	2·529	2·625	2·723	2·822	2·918	3·016	3·112
50	2·477	2·575	2·674	2·773	2·873	2·972	3·071	3·170
60	2·522	2·622	2·722	2·823	2·925	3·026	3·127	3·228
70	2·567	2·669	2·771	2·874	2·977	3·080	3·183	3·285
80	2·612	2·716	2·820	2·925	3·030	3·134	3·239	3·343
90	2·657	2·763	2·869	2·975	3·082	3·188	3·295	3·401
600	2·702	2·810	2·918	3·026	3·135	3·243	3·351	3·459
10	2·747	2·857	2·966	3·076	3·187	3·297	3·407	3·516
20	2·792	2·904	3·015	3·127	3·239	3·351	3·463	3·574
30	2·837	2·951	3·064	3·177	3·292	3·405	3·519	3·632
40	2·882	2·998	3·112	3·228	3·344	3·459	3·575	3·689
50	2·928	3·044	3·161	3·278	3·396	3·513	3·630	3·747
60	2·973	3·091	3·209	3·328	3·448	3·567	3·686	3·805
70	3·018	3·138	3·258	3·379	3·500	3·621	3·742	3·862
80	3·063	3·185	3·307	3·430	3·553	3·675	3·798	3·920
90	3·108	3·232	3·356	3·480	3·605	3·729	3·854	3·978
700	3·153	3·279	3·405	3·531	3·658	3·784	3·910	4·036
10	3·198	3·326	3·453	3·581	3·710	3·838	3·966	4·094
20	3·243	3·373	3·502	3·632	3·762	3·892	4·022	4·151
30	3·288	3·420	3·550	3·682	3·815	3·946	4·078	4·209
40	3·333	3·467	3·599	3·733	3·867	4·000	4·134	4·267
50	3·379	3·513	3·648	3·783	3·919	4·054	4·189	4·324
60	3·424	3·560	3·696	3·833	3·971	4·108	4·245	4·381
70	3·469	3·617	3·745	3·884	4·023	4·162	4·301	4·439
80	3·514	3·654	3·794	3·934	4·076	4·216	4·357	4·497
90	3·559	3·701	3·843	3·985	4·128	4·270	4·413	4·555

IX. b. Tabelle.

(Zur Seite 250.)

Sie ist berechnet von Militzer nach dem Ausdehnungscoefficienten des Quecksilbers = 0·00017405 und für eine nach Pariser Linien getheilte Barometerscale von Messing, (dessen Ausdehnungscoefficient für 1° C = 0·00018785 angenommen wurde) giltig. Um nach dieser Tabelle die Barometerhöhe auf 0° zu reduciren, wird zu dieser Barometerhöhe jene Zahl aus den Verticalspalten mit ihrem (darüber stehenden) Zeichen addirt, welche der besagten, in den horizontalen Kopf-Columnen nach Zollen und Linien aufgesuchten Barometerhöhe und der Temperatur entspricht, bei welcher die Barometerhöhe abgelesen wurde und welche in der ersten Verticalcolumne aufzusuchen ist.

Temperatur nach R.	25″ (Zoll).											
	0‴	1‴	2‴	3‴	4‴	5‴	6‴	7‴	8‴	9‴	10‴	11‴
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
— 5°	0·199	0·200	0·200	0·201	0·202	0·202	0·203	0·204	0·204	0·205	0·206	0·207
4	0·141	0·141	0·141	0·142	0·142	0·142	0·143	0·143	0·144	0·144	0·145	0·145
3	0·083	0·083	0·083	0·084	0·084	0·084	0·085	0·085	0·085	0·085	0·086	0·086
2	0·025	0·025	0·025	0·025	0·025	0·025	0·025	0·025	0·025	0·025	0·025	0·025
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	0·034	0·034	0·034	0·034	0·034	0·034	0·035	0·035	0·035	0·035	0·035	0·035
0	0·092	0·092	0·092	0·093	0·093	0·093	0·094	0·094	0·094	0·094	0·095	0·095
+ 1	0·150	0·150	0·151	0·151	0·152	0·152	0·152	0·153	0·153	0·154	0·154	0·155
2	0·208	0·209	0·209	0·210	0·210	0·211	0·212	0·212	0·213	0·214	0·214	0·215
3	0·266	0·267	0·267	0·268	0·269	0·270	0·271	0·271	0·272	0·273	0·274	0·275

Temperatur nach R.	25 Zoll.											
	0‴	1‴	2‴	3‴	4‴	5‴	6‴	7‴	8‴	9‴	10‴	11‴
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
+ 4	0·324	0·325	0·326	0·327	0·328	0·329	0·330	0·331	0·332	0·333	0·334	0·336
5	0·382	0·383	0·385	0·386	0·389	0·387	0·390	0·391	0·392	0·393	0·394	0·396
6	0·440	0·441	0·443	0·444	0·446	0·447	0·448	0·450	0·451	0·453	0·454	0·456
7	0·498	0·499	0·501	0·503	0·504	0·506	0·508	0·509	0·511	0·513	0·514	0·516
8	0·556	0·558	0·559	0·561	0·563	0·565	0·567	0·569	0·570	0·572	0·574	0·576
9	0·614	0·616	0·618	0·620	0·622	0·624	0·627	0·629	0·631	0·633	0·635	0·637
10	0·672	0·674	0·676	0·679	0·681	0·683	0·686	0·688	0·690	0·693	0·695	0·697
11	0·730	0·732	0·735	0·737	0·740	0·742	0·744	0·747	0·750	0·752	0·755	0·757
12	0·788	0·790	0·793	0·795	0·798	0·801	0·803	0·806	0·808	0·811	0·813	0·816
13	0·846	0·849	0·851	0·854	0·857	0·859	0·862	0·865	0·867	0·870	0·873	0·876
14	0·904	0·907	0·910	0·913	0·916	0·919	0·922	0·925	0·928	0·931	0·934	0·937
15	0·962	0·965	0·968	0·972	0·975	0·978	0·981	0·984	0·988	0·991	0·994	0·997
16	1·020	1·023	1·027	1·030	1·033	1·037	1·040	1·044	1·047	1·050	1·054	1·057
17	1·078	1·081	1·085	1·088	1·092	1·095	1·099	1·103	1·106	1·110	1·113	1·116
18	1·136	1·139	1·143	1·147	1·150	1·154	1·158	1·161	1·165	1·169	1·172	1·176
19	1·194	1·197	1·201	1·205	1·209	1·213	1·217	1·221	1·225	1·229	1·233	1·237
20	1·251	1·255	1·259	1·264	1·268	1·272	1·276	1·280	1·284	1·288	1·292	1·296
21	1·309	1·313	1·317	1·322	1·326	1·331	1·335	1·340	1·344	1·348	1·353	1·357
22	1·366	1·370	1·375	1·379	1·384	1·389	1·393	1·398	1·402	1·407	1·411	1·416
23	1·424	1·429	1·434	1·438	1·443	1·448	1·452	1·457	1·462	1·467	1·471	·476
24	1·481	1·486	1·491	1·496	1·501	1·506	1·511	1·516	1·521	1·526	1·531	1·536
25	1·539	1·544	1·549	1·554	1·559	1·564	1·570	1·575	1·580	1·585	1·590	1·595

	26 Zoll.											
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
−5°	0·207	0·207	0·208	0·209	0·209	0·210	0·211	0·212	0·212	0·213	0·214	0·215
4	0·146	0·146	0·147	0·148	0·148	0·149	0·150	0·150	0·151	0·152	0·152	0·153
3	0·086	0·086	0·087	0·087	0·087	0·088	0·088	0·088	0·089	0·089	0·089	0·090
2	0·025	0·025	0·025	0·025	0·026	0·026	0·026	0·026	0·026	0·027	0·027	0·027
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	0·035	0·035	0·035	0·035	0·035	0·035	0·035	0·036	0·036	0·036	0·036	0·036
0	0·095	0·095	0·095	0·096	0·096	0·096	0·097	0·097	0·097	0·098	0·098	0·098
+ 1	0·155	0·155	0·156	0·156	0·157	0·157	0·158	0·158	0·159	0·160	0·160	0·161
2	0·216	0·216	0·217	0·218	0·218	0·219	0·220	0·220	0·221	0·222	0·223	0·224
3	0·276	0·276	0·277	0·278	0·279	0·280	0·281	0·282	0·283	0·284	0·285	0·286
4	0·337	0·338	0·339	0·340	0·341	0·343	0·344	0·345	0·346	0·347	0·348	0·349
5	0·397	0·398	0·399	0·401	0·402	0·403	0·405	0·406	0·407	0·409	0·410	0·411
6	0·457	0·458	0·460	0·461	0·463	0·464	0·466	0·467	0·469	0·470	0·472	0·473
7	0·518	0·519	0·521	0·523	0·524	0·526	0·527	0·529	0·531	0·532	0·534	0·536
8	0·578	0·580	0·581	0·583	0·585	0·587	0·589	0·591	0·593	0·595	0·597	0·599
9	0·639	0·641	0·643	0·645	0·647	0·649	0·651	0·654	0·656	0·658	0·660	0·662
10	0·699	0·701	0·703	0·705	0·708	0·710	0·712	0·714	0·717	0·719	0·721	0·723
11	0·759	0·761	0·763	0·766	0·768	0·771	0·773	0·776	0·778	0·781	0·783	0·786
12	0·819	0·822	0·824	0·827	0·830	0·832	0·835	0·837	0·840	0·843	0·845	0·848
13	0·879	0·882	0·884	0·887	0·890	0·893	0·896	0·899	0·901	0·904	0·907	0·910
14	0·940	0·943	0·946	0·949	0·952	0·955	0·958	0·961	0·964	0·967	0·970	0·973
15	1·000	1·003	1·006	1·010	1·013	1·016	1·019	1·023	1·026	1·029	1·032	1·035
16	1·060	1·063	1·066	1·070	1·073	1·077	1·080	1·084	1·087	1·091	1·094	1·098
17	1·120	1·123	1·127	1·130	1·134	1·137	1·141	1·144	1·148	1·152	1·155	1·159
18	1·180	1·183	1·187	1·191	1·194	1·198	1·202	1·206	1·210	1·214	1·218	1·222
19	1·241	1·244	1·248	1·252	1·256	1·260	1·264	1·268	1·272	1·276	1·280	1·284
20	1·301	1·305	1·309	1·313	1·317	1·322	1·326	1·330	1·334	1·338	1·342	1·346
21	1·361	1·365	1·369	1·374	1·378	1·382	1·387	1·391	1·395	1·399	1·404	1·408
22	1·421	1·421	1·430	1·435	1·439	1·444	1·448	1·453	1·457	1·462	1·466	1·471
23	1·481	1·486	1·491	1·496	1·500	1·505	1·510	1·515	1·519	1·524	1·529	1·533
24	1·541	1·545	1·550	1·555	1·560	1·565	1·570	1·575	1·580	1·585	1·590	1·595
25	1·600	1·605	1·610	1·616	1·621	1·626	1·631	1·636	1·642	1·647	1·652	1·657

Temperatur nach R.	27 Zoll.											
	0‴	1‴	2‴	3‴	4‴	5‴	6‴	7‴	8‴	9‴	10‴	11‴
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
— 5°	0·216	0·216	0·217	0·218	0·218	0·219	0·220	0·220	0·221	0·222	0·223	0·223
4	0·153	0·153	0·154	0·154	0·155	0·155	0·156	0·156	0·157	0·157	0·158	0·158
3	0·090	0·090	0·090	0·090	0·091	0·091	0·091	0·091	0·092	0·092	0·092	0·092
2	0·027	0·027	0·027	0·027	0·027	0·027	0·028	0·028	0·028	0·028	0·028	0·028
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
+ 1	0·036	0·036	0·036	0·036	0·036	0·037	0·037	0·037	0·037	0·037	0·038	0·038
0	0·099	0·099	0·099	0·100	0·100	0·100	0·101	0·101	0·101	0·102	0·102	0.102
1	0·162	0·162	0·163	0·163	0·164	0·164	0·165	0·165	0·166	0·166	0·167	0·167
2	0·224	0·225	0·226	0·227	0·227	0·228	0·229	0·230	0·230	0·231	0·232	0·233
3	0·287	0·287	0·288	0·289	0·290	0.291	0·292	0·293	0·294	0·215	0·296	0·297
4	0·350	0·351	0·352	0·353	0·354	0·356	0·357	0·358	0·359	0·360	0·361	0·362
5	0·412	0·413	0·414	0·416	0·417	0·418	0·420	0·421	0·422	0·424	0·425	0·426
6	0·475	0·476	0·478	0·479	0·481	0·482	0·484	0·485	0·487	0·488	0·490	0·491
7	0·538	0·540	0·542	0·543	0·545	0·547	0·548	0·550	0·552	0·553	0·555	0·557
8	0·601	0·603	0·605	0·607	0·609	0·610	0·612	0·614	0·616	0·618	0·620	0·622
9	0·664	0·666	0·668	0·670	0·672	0·674	0·676	0·678	0·680	0·682	0·684	0·686
10	0·726	0·728	0·730	0·733	0·735	0·737	0·739	0·742	0·744	0·746	0·748	0·751
11	0·788	0·790	0·793	9·795	0·798	0·800	0·803	0·805	0·808	0·810	0·813	0·815
12	0·851	0·854	0·857	0·859	0·862	0·865	0·868	0·870	0·873	0·876	0·879	0·881
13	0·913	0·916	0·919	0·922	0·924	0·927	0·930	0·933	0·936	0·939	0·942	0·945
14	0·976	0·979	0·982	0·985	0·988	0·991	0·994	0·997	1·000	1·003	1·006	1·009
15	1·038	1·041	1·044	1·048	1·051	1·054	1·057	1·161	1·064	1·067	1·070	1·074
16	1·101	1·104	1·108	1·111	1·115	1·118	1·121	1·125	1·128	1·132	1·135	1·139
17	1·163	1·167	1·170	1·174	1·178	1·181	1·185	1·189	1·192	1.196	1·200	1·203
18	1·226	1·229	1·233	1·237	1·241	1·245	1·249	1·253	1·257	1·260	1·264	1·268
19	1·288	1·292	1·296	1·300	1·304	1·309	1·313	1·317	1·321	1·325	1·329	1·333
20	1·351	1·355	1·360	1·364	1·368	1·372	1·376	1·380	1·384	1·389	1·393	1·397
21	1·413	1·417	1·422	1·426	1·431	1·435	1·439	1·444	1·448	1·453	1·457	1·462
22	1·476	1·481	1·485	1·490	1·494	1·499	1·503	1·508	1·512	1·517	1·521	1·526
23	1·538	1·543	1·548	1·552	1·557	1·562	1·567	1·571	1·576	1·581	1·586	1·590
24	1·600	1·605	1·610	1·615	1·620	1·625	1·630	1·635	1·640	1·645	1·650	1·655
25	1·662	1·667	1·672	1·677	1·683	1·688	1·693	1·698	1·704	1·709	1·714	1·719

	28 Zoll.											
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0 +	+
— 5°	0·224	0·225	0·226	0·226	0·227	0·228	0·228	0·229	0·230	0·230	0·231	0·232
4	0·159	0·159	0·160	0·160	0·161	0·161	0·162	0·162	0·163	0·163	0·164	0·164
3	0·093	0·093	0·093	0·093	0·094	0·094	0·094	0·095	0·095	0·095	0·095	0·096
2	0·028	0·028	0·028	0·028	0·028	0·028	0·029	0·029	0·029	0·029	0·029	0·029
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	0·038	0·038	0·038	0·039	0·039	0·039	0·039	0·039	0·040	0·040	0·040	0·040
0	0·103	0·103	0·103	0·104	0·104	0·104	0·105	0·105	0·105	0·106	0·106	0·106
+1	0·168	0·168	0·169	0·169	0·170	0·171	0·171	0·171	0·172	0·172	0·173	0·173
2	0·233	0·234	0·235	0·235	0·236	0·237	0·238	0·238	0·239	0·240	0·241	0·242
3	0·298	0·298	0·299	0·300	0·301	0·302	0·303	0·304	0·305	0·306	0·307	0·308
4	0·363	0·364	0·366	0·367	0·368	0·369	0·370	0·371	0·372	0·373	0·374	0·374
5	0·428	0·429	0·431	0·432	0·433	0·435	0·436	0·437	0·439	0·440	0·441	0·442
6	0·493	0·494	0·496	0·497	0·499	0·500	0·502	0·503	0·505	0·506	0·508	0·509
7	0·558	0·560	0·561	0·563	0·565	0·566	0·568	0·570	0·571	0·573	0·575	0·577
8	0·623	0·624	0·626	0·628	0·630	0·632	0·634	0·636	0·637	0·639	0·641	0·643
9	0·688	0·690	0·692	0·694	0·696	0·698	0·700	0·702	0·704	0·706	0·708	0·710
10	0·753	0·755	0·757	0·760	0·762	0·764	0·766	0·769	0·771	0·773	0·775	0·777
11	0·818	0·820	0·823	0·825	0·828	0·830	0·833	0·835	0·838	0·840	0·843	0·845
12	0·883	0·886	0·888	0·891	0·894	0·896	0·899	0·902	0·904	0·907	0·910	0·913
13	0·948	0·950	0·953	0·956	0·959	0·962	0·965	0·968	0·971	0·974	0·977	0·980
14	1·012	1·015	1·018	1·021	1·024	1·027	1·030	1·033	1·036	1·039	1·042	1·045
15	1·077	1·080	1·083	1·087	1·090	1·093	1·096	1·100	1·103	1·106	1·109	1·113
16	1·142	1·145	1·149	1·152	1·156	1·159	1·162	1·166	1·169	1·173	1·176	1·180
17	1·207	1·211	1·214	1·218	1·122	1·225	1·229	1·233	1·236	1·240	1·244	1·247

Temperatur nach R.	28 Zoll 0‴	1‴	2‴	3‴	4‴	5‴	6‴	7‴	8‴	9‴	10‴	11‴
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	1·272	1·276	1·279	1·283	1·287	1·291	1·294	1·298	1·302	1·306	1·310	1·314
19	1·337	1·341	1·345	1·349	1·353	1·357	1·361	1·366	1·370	1·374	1·378	1·382
20	1·401	1·406	1·410	1·414	1·418	1·422	1·426	1·430	1·434	1·439	1·443	1·447
21	1·466	1·470	1·474	1·479	1·483	1·488	1·492	1·497	1·501	1·506	1·510	1·515
22	1·530	1·534	1·539	1·543	1·548	1·552	1·557	1·561	1·566	1·570	1·575	1·579
23	1·595	1·600	1·605	1·609	1·614	1·619	1·624	1·628	1·633	1·638	1·643	1·648
24	1·660	1·665	1·670	1·675	1·680	1·685	1·690	1·695	1·700	1·705	1·710	1·715
25	1·724	1·729	1·734	1·739	1·745	1·750	1·755	1·760	1·765	1·770	1·775	1·780

X. Tabelle.

Zur Berichtigung der Capillardepression in Barometern.

(Zur Seite 251.)

Durchm. der Röhre in Millim.	Höhe des Meniskus in Millimeter. 0·1	0·2	0·3	0·4	0·5	0·6	0·7	0·8	0·9	1·0	1·1	1·2	1·3	1·4	1·5	1·6	1·7	1·8
1·0	1·268	2·460	3·516	4·396	5·085													
1·2	0·876	1·715	2·484	3·162	3·728	4·190												
1·4	0·638	1·256	1·836	2·363	2·825	3·218	3·542											
1·6	0·484	0·955	1·404	1·820	2·196	2·528	2·812	3·050										
1·8	0·378	0·747	1·103	1·437	1·746	2·024	2·270	2·483	2·662									
2·0	0·302	0·598	0·885	1·158	1·413	1·648	1·859	2·046	2·209	2·348								
2·2	0·245	0·487	0·723	1·948	1·161	1·360	1·541	1·705	1·851	1·978	2·087							
2·4	0·203	0·403	0·599	0·787	0·966	1·135	1·292	1·436	1·565	1·680	1·780	1·866						
2·6	0·170	0·337	0·502	0·661	0·813	0·958	1·093	1·218	1·332	1·436	1·528	1·608	1·676					
2·8	0·143	0·285	0·425	0·560	0·691	0·815	0·932	1·041	1·142	1·235	1·318	1·392	1·456	1·511				
3·0	0·122	0·243	0·362	0·478	0·591	0·698	0·800	0·896	0·985	1·068	1·143	1·210	1·270	1·322	1·368			
3·2	0·105	0·209	0·312	0·412	0·509	0·602	0·691	0·776	0·855	0·928	0·995	1·057	1·112	1·161	1·203	1·238		
3·4	0·091	0·181	0·269	0·356	0·441	0·523	0·601	0·675	0·745	0·810	0·871	0·926	0·976	1·021	1·061	1·095		
3·6	0·079	0·157	0·234	0·310	0·384	9·455	0·524	0·590	0·652	0·710	0·764	0·814	0·860	0·901	0·938	0·970		
3·8	0·069	0·137	0·205	0·271	0·336	0·399	0·459	0·517	0·572	0·642	0·673	0·718	0·760	0·797	0·831	0·861	0·887	
4·0	0·060	0·120	0·180	0·238	0·295	0·350	0·404	0·455	0·504	0·551	0·594	0·635	0·673	0·707	0·738	0·766	0·790	
4·2	0·053	0·106	0·158	0·210	0·260	0·309	0·356	0·402	0·446	0·487	0·526	0·563	0·597	0·628	0·657	0·682	0·705	
4·4	0·047	0·094	0·140	0·185	0·230	0·273	0·315	0·356	0·395	0·432	0·467	0·500	0·531	0·559	0·585	0·609	0·630	
4·6	0·042	0·083	0·124	0·164	0·204	0·242	0·280	0·316	0·351	0·384	0·416	0·445	0·437	0·499	0·522	0·544	0·563	
4·8	0·037	0·074	0·110	0·146	0·181	0·215	0·249	0·281	0·312	0·342	0·370	0·397	0·422	0·445	0·467	0·486	0·504	
5·0	0·033	0·065	0·098	0·130	0·161	0·192	0·221	0·250	0·278	0·305	0·330	0·354	0·377	0·398	0·418	0·436	0·452	
5·2	0·029	0·058	0·087	0·116	0·144	0·171	0·198	0·224	0·248	0·272	0·295	0·317	0·337	0·356	0·374	0·390	0·405	0·418
5·4	0·026	0·052	0·078	0·103	0·128	0·153	0·177	0·200	0·222	0·244	0·264	0·284	0·302	0·319	0·336	0·350	0·364	0·376
5·6	0·023	0·047	0·070	0·092	0·115	0·137	0·158	0·179	0·199	0·218	0·237	0·255	0·271	0·287	0·301	0·315	0·327	0·338
5·8	0·021	0·042	0·062	0·083	0·103	0·122	0·142	0·160	0·178	0·196	0·213	0·228	0·243	0·257	0·271	0·283	0·294	0·304
6·0	0·019	0·037	0·056	0·074	0·092	0·110	0·127	0·144	0·160	0·176	0·191	0·205	0·219	0·231	0·243	0·254	0·264	0·273
6·2	0·017	0·034	0·050	0·067	0·083	0·099	0·114	0·129	0·144	0·158	0·172	0·185	0·197	0·208	0·219	0·229	0·238	0·246
6·4	0·015	0·030	0·045	0·060	0·074	0·089	0·103	0·116	0·130	0·142	0·154	0·166	0·177	0·187	0·197	0·206	0·214	0·221
6·6	0·014	0·027	0·041	0·054	0·067	0·080	0·093	0·105	0·117	0·128	0·139	0·150	0·160	0·169	0·178	0·186	0·193	0·200
6·8	0·012	0·024	0·037	0·049	0·061	0·072	0·084	0·095	0·105	0·116	0·126	0·135	0·144	0·153	0·160	0·168	0·174	0·180
7·0	0·011	0·022	0·033	0·044	0·055	0·065	0·075	0·085	0·095	0·105	0·114	0·122	0.130	0·138	0·145	0·152	0·158	0·163

XI. a. Tabelle.

Reibungscoefficienten für die Bewegung von Ruhe aus, nachdem die ebenen Flächen längere Zeit mit einander in Berührung waren.

(Zur Seite 309).

Benennung der sich reibenden Stoffe.	Zustand der Flächen und Gattung der Schmiere: Trocken	Mit Wasser benetzt	Olivenöl	Schweineschmalz	Unschlitt	Trockene Seife	Fettig und polirt	Fettig und benetzt
Holz auf Holz . . . . (im Mittel)	0·50	0·68	—	0·21	0·19	0·36	0·36	
Metall auf Metall . . . . . (im Mittel)	0·18	—	0·12	0·10	0·11	--	0·15	
Holz auf Metall oder umgekehrt	0·60	0·65	0·10	0·12	0·12	—	0·10	
Hanfseile oder Gurten auf Holz (im Mittel)	0·63	0·87						
Starkes Sohlenleder für Liederung auf Holz oder Gußeisen, nach der Kante	0·43	0·62	0·12					0·27
Starkes Sohlenleder für Liederung auf Holz oder Gußeisen, flach	0·62	0·80	0·13					
Riemen vom schwarzen Leder auf einer Trommel von Holz . . .	0·47							
Riemen vom schwarzen Leder auf einer Trommel von Gußeisen . .	0·54						0·28	0·38
Kalkstein (Roggenstein) auf Kalkstein . . .	0·74							
Muschelkalk auf Roggenstein	0·75							
Ziegel auf Roggenstein	0·67							
Eichenholz auf Roggenstein, über Hirn .	0·63							
Eisen auf Roggenstein	0·49							
Muschelkalk auf Muschelkalk	0·70							
Ziegel auf Muschelkalk	0·67							

XI. b. Tabelle.

Reibungscoefficienten für das Uebereinandergleiten ebener Flächen während der Bewegung.

(Zur Seite 309.)

Benennung der sich reibenden Stoffe.	Zustand der Flächen und Gattung der Schmiere: Trocken	Mit Wasser benetzt	Olivenöl	Schweineschmalz	Unschlitt	Schweinsch. u. Graphit	Gereinigte Wagenschm.	Trockene Seife	fettig
Holz auf Holz . . . . (im Mittel)	0·36	0·25	—	0·07	0·07	—	—	0·14	0·12
Metall auf Metall . (im Mittel)	0·18	0·31	0·07	0·09	0·09	0·08	0·15	0·20	0·13
Holz auf Holz oder umgekehrt (im Mittel)	0·42	0·24	0·06	0·07	0·08	0·08	0·10	0·20	0·14
Hanfseile oder Gurten auf Eichenholz . .	0·45	0·32							
„ „ „ „ Gußeisen . .			0·15	—	0·19				
Sohlenleder, die flache Seite auf Holz oder auf Metall, roh	0·54	0·36	0·16	—	0·20				
Sohlenleder, die flache Seite auf Holz oder auf Metall, geklopft . . .	0·30								
Sohlenleder, die flache Seite auf Holz oder auf Metall, fett . .	—	0·25							
Sohlenleder, mit der Kante Garnituren bei Kolben, trocken .	0·34	0·31	0·14	—	0·14				
Sohlenleder, mit der Kante Garnituren bei Kolben, geschmiert .	—	0·24							

XII. Tabelle.

Brechungsexponenten fester und tropfbarer Körper.

Brechungsexponent des leeren Raumes = 1·000.

(Zur Seite 727)

Name des Körpers.	Brechungsexponent
Aether · · · · · · · · Wol.	1·358
" · · · · · · · · Yg.	1·374
" zum dreif. Volum. ausgedehnt · · · Bw.	1·0570
Alaun · · · · · · · · Wol.	1·457
" · · · · · · · · New.	1·458
" · · · · · · · · Yg.	1·488
Alaunlösung, gesättigt · · Hers.	1·356
Alaunerde, salpetersaure · Wol.	1·410
" in Alkohol · · Wol.	1·422
Alkohol · · · · · · Wol.	1·372
" spez. Gew. 0 866 · New.	1 370
" gewässert · · · · Bw.	1·374
" rectificirt · · · · Hers.	1·372
" absoluter · Becq. et Cab.	1·361
" " · · · · Dev.	1·363
Aloe · · · · · · · · · Bw.	1·634
Ambraöl · · · · · · · · Wol.	1·505
Ameisenäther · · · · Becq. et Cab.	1·361
Amethyst · · · · · · · Wol.	1·562
Ammoniak, kaust. · · · Bw.	1·349
" wasserfrei durch Kälte condensirt Bw.	1·752
" salzsaures · · Bw.	1·625
" mit schwefelsaur. Magnesia · Bw.	1·483
Ammoniakgummi · · · Bw.	1·592
Annatas · · · · · · · Bw.	2·500
Angelikaöl · · · · · · Bw.	1 491
Anisöl · · · · · · · Bw.	1·811
Anhydrit, extraordinärer · Bw.	1·6219
" ordinärer · · · Bw.	1·5772
Apfelsäure · · · · · · · Bw.	1·395
Apophyllit · · · · · · · Hers.	1·5431
Aragonit, ordin. · · · · Mal.	1·6934
" extr. · · · · · Mal.	1·5348
Arsenik · · · · · · · · Wol.	1·811
Asand · · · · · · · · · Mx.	1·590
Auge des Menschen:	
" Hornhaut · · · · · Bw.	1·386
" Wasserfeuchtigkeit · · Bw.	1·3366
" ganze Linse · · · · Bw.	1·3839
" äußere Lage der Linse Bw.	1·3767
" mittlere Lage · · Bw.	1·3786
" Kern · · · · · · Bw.	1.3999
" Glasfeuchtigkeit · · Bw.	1·3394

Name des Körpers.	Brechungsexponent
Auge eines Lammes:	
" Hornhaut · · · · Bw.	1·386
" äußere Lage der Linse Bw.	1·386
" mittlere Lage · · · Bw.	1 428
" Kern · · · Bw.	1·436
" Glasfeuchtigkeit · · Bw.	1·345
Auge des Kabeljau	
" ganze Linse · · · · Mon.	1·5492
" äußere Lage · · · · Bw.	1·410
" mittlere Lage · · · Bw.	1·439
" Kern · · · · · · · Mon.	1·5929
" Glasfeuchtigkeit · Mon.	1·3531
Auge eines Ochsen:	
" ganze Linse · · · · Mon.	1 4747
" äußere Lage · · · · Mon.	1·4293
" Kern · · · · · · · Mon.	1·5425
" Glasfeuchtigkeit · Mon.	1·3571
" Wasserfeuchtigkeit · · Mon.	1·3358
Axinit · · · · · · · · · Bw.	1·735
Balsam, Copaiva · · · · Mx.	1 507
" " in Alkohol Wol.	1 440
" " " Mx.	1·397
" Canada · · · · · Yg.	1·532
" " · · · · · Bw.	1·549
" Gilead · · · · · Yg.	1 529
" peruvianisch · · · Bw.	1·597
" Styrax · · · · Bw.	1 585
" Tolu · · · · · Bw.	1 628
" " in Alkohol · Wol.	1·400
Baryt, kohlensaurer · · · Bw.	1·540
" salzsaurer · · · Bw.	1·646
" schwefelsaurer · · · Mal.	1·6468
" " extraord. Mal.	1 6352
" " ordin. · · Bw.	1 6201
Bergamotöl · · · · · · Yg.	1·473
" · · · · · · Bw.	1·471
Bergkrystall · · · · · · · · · ·	1·562
Bernstein · · · · · · · · Bw.	1·47
" · · · · · · · "	1·552
Beryl · · · · · · · · · Bw.	1 598
Bibergeil · · · · · · · Bw.	1·626
Bittermandelöl · · · · · Bw.	1 603
Blei, borsaures · · · · · Hers.	1·866
" chromsaures · · · · Bw.	2·926
" " Max. · · Bw.	2·374
" " Min. · · Bw.	2·508

Name der Körper.		Brechungs-exponent
Blei, essigsaures	Wol.	1·400
„ kieselsaures	Hers.	2·123
„ kohlensaures in Mar.	Bw.	2·084
„ „ in Min.	Bw.	1·813
„ salpetersaures	Bw.	1·758
„ schwefelsaures	Bw.	1·925
Bleisalpeter	Hers.	2·322
Blut vom Menschen	Yg.	1·354
Borazit	Bw.	1·701
Borax	Cav.	1·467
„	Bw.	1·475
Boraxglas (1 Th. Borax, 2 Th. Kiesel)	Bw.	1·522
Brenzcitronenäther	Becq. et Cah.	1·446
Bromkohlenwasserstoff	Becq. et Cah.	1·534
Bromwasserstoff	Becq. et Cah.	1·510
Brunnenwasser	Eul.	1·3366
Bucheöl	Bw.	1·500
Butter, kalte	Wol.	1·480
Buröl	Yg.	1·356
Cajeputöl	Yg.	1·478
„	Bw.	1·483
Calcedon	Bw.	1·553
Cassiaöl	Bw.	1·641
„	Hers.	1·64
„	Mx.	1·603
Cautschouk	Wol.	1·524
Chamillenöl	Bw.	1·457
„	Yg.	1·476
„	Mx.	1·455
Chlorkohlenwasserstoff	Becq. et Cah.	1·446
Chlorwasserstoff flüssig	Becq et Cah.	1·488
Chrysoberyll	Bw.	1·760
Chrysolith	Bw.	1·660
Citronenäther	Becq. et Cah.	1·446
Citronenöl	Becq. et Cah.	1·475
„	Dev.	1·472
„	Bw.	1·527
Citronensäure	Bw.	1·527
Cölnerwasser	Mx.	1·382
Colophonium	Wol.	1·543
Comptonit	Bw.	1·553
Copaivaöl, rein	Dev.	1·471
Copal	Bw.	1·549
Cryolit	Bw.	1·344
Cuminöl	Bw.	1·512
Cyan	Bw.	1·316
Diamant	New.	2·439
„	Roch.	2·487
„ braun		2·470
Dichroit	Bw.	1·544
Dillsamenöl	Bw.	1·477
„	„	1.487
Drachenblut	Bw.	1·520
Eis	Wol.	1·310

Name des Körpers.		Brechungs-exponent
Eis	Bw.	1·307
„	Bw.	1·3085
Eisenoxyd	Yg.	2·100
Eisen, salpetersaures	Wol.	1·375
„ salzsaures	Wol.	1·385
„ schwefelsaures	Mx.	1·494
Eiweiß vom Hühnerei	Wol.	1·360
Eiter	Bw.	1·395
Elemiharz	Bw.	1·547
Elemiöl	Becq et Cah.	1·475
Epidot, Mar.	Bw.	1·703
„ Min.	Bw.	1·661
Essigäther	Becq. et Cah.	1·370
Essigsäure	Bw.	1·396
„ kryst.	Becq. et Cah.	1·376
Essig, gemeiner	Bw.	1·347
„ destillirt	Eul.	1·372
Euklas, extr.	Bw.	1·663
„ ord.	Bw.	1·6429
Eupion	Becq. et Cah	1·409
Feldspath	Bw.	1·764
Fenchelöl	Bw.	1·506
Fenugreköl	Bw.	1·487
Fischbein	Bw.	1·345
Flohkrautöl	Bw.	1·498
Flüssigkeit in Krystallen ausdehnbare		1·1311
„ minder ausdehnbare		1·2946
„ 1. im Topas	Bw.	1·1311
„ 2. „ „		1·2946
„ im Amethyst	Bw.	1·2106
Flußspath	Bw.	1·436
„	Wol.	1·433
Frauenmünzöl	Bw.	1·481
„	„	1·496
Gewürznelkenöl		1·596
Glas, gemeines	Bw.	1·530
„ von St. Gobain	Wol.	1·543
„ zu Bouteillen	Bw.	1·582
„ zu Tafeln	Bw.	1·527
„ grünes	Bw.	1·615
„ hyacinthrothes	Bw.	1·647
„ blaßrothes	Bw.	1·570
„ dunkelrothes	Bw.	1·729
„ roth, mit Gold	Bw.	1·715
„ purpurrothes	Bw.	1:608
„ rubinrothes	Bw.	1·601
„ rosenrothes	Bw.	1·570
„ oranges	Bw.	1·695
„ lichtblaues	Bw.	1·570
„ zimmtbraunes	Bw.	1·530
„ opalartiges	Bw.	1·635
Glas (Flint-)		
„ 1 Th. Blei 4 Th. Kiesel		1·664
„ 1 „ „ 2 „ „		1·724

Name der Körper	Brechungsexponent
Glas- (Flint-)	
" 1 Th. Blei 1 Th. Kiesel	1·787
" 3 " " 4 " "	1·732
" 2 " " 1 " "	1·830
" 3 " " 1 " "	2·028
" 1 " " 4 " "	1·664
Glas (Flint-) Frauenhofers:	
" Nr. 30 Fr.	1·6374
" " 23 Fr.	1·6405
" " 13 Fr.	1·6420
" (borsaur. Bleioxyd) Hers.	2·0652
" kieselh. bors. Bleioxyd Hers.	1·8735
Glas, Crown-, engl. Wol.	1·500
" französisches Wol.	1·504
" Frauenhofers Nr. 13 Fr.	1·5314
" " 9 Fr.	1·5331
Gold im Königswasser gelös. Wol.	1·364
" in Alkohol Wol.	1·390
Granat Bw.	1·815
Guajak Yg.	1·600
" Bw.	1·619
Gummi-Ammoniak Bw.	1·592
" arabischer New.	1·476
" Tragant Bw.	1·520
Holzöl Bw.	1·506
Honig Yg.	1·495
Horn Bw.	1·565
Hydrobromäther Becq. et Cah.	1·417
Hydrojodäther Becq. et Cah.	1·512
Jalappaharz Bw.	1·608
Jodlösung im Weingeiste Mx.	1·384
Kalilösung Bw.	1·390
Kali, arseniksaures Wol.	1·535
" chromsaur., fest, Mar. Bw.	1·665
" " Min. Bw.	1·319
" kohlensaures Bw.	1·482
" schwefelsaures Bw.	1·509
" " Wol.	1·508
" weinsteinsaures mit Soda Bw.	1·515
Kalkspath ord. Mal.	1·6543
" ext. Mal.	1·4833
Kalkspath ord. Strahl	
" H Rud.	1·68330
" G "	1·67617
" F "	1·66802
" E "	1·66360
" D "	1·65850
" C "	1·65452
" B "	1·65308
Kalkspath, extraord. Strahl	
" H Rud.	1·49780
" G "	1·49453
" F "	1·40975
" E "	1·48868
Kalkspath, extraord. Strahl	
" D Rud.	1·48635
" C "	1·48455
" B "	1·48391
Kalk, salpetersaurer Bw.	1·410
" Bw.	1·427
" salzsaurer Bw.	1·425
" Bw.	1·440
" schwefelsaurer Wol	1·525
" unterschwefelsaur. rothe Strahlen Hers.	1·561
" gelblichgrüne Hers.	1·566
" wolframsaur. Mar. Bw.	2·120
" " Min. Bw.	1·970
Kalkwasser Bw.	1·334
Kanellstein Bw.	1·750
Kampfer Wol.	1·487
Kochsalzlösung, gesättigte Cav.	1·375
Kubebenöl Becq. et Cah.	1·490
Kümmelöl Bw.	1·508
Kupfer, schwefelsaur. Mar. Bw.	1·552
" " Min. Bw.	1·531
Labrador, Hornblende Hers.	1·80
Lavendelöl Bw	1·475
" Wol.	1·467
Leinöl Wol.	1·485
Leuzit Bw.	1·527
Limonienöl Wol.	1·476
" in Alkohol Wol.	1·430
Magnesia, salzsaure Wol.	1·416
" schwefelsaure Bw.	1·488
" " "	1·465
Majoranöl Bw.	1·491
Mandelöl Wol.	1·469
Mandelstein Bw.	1·515
Manna Yg.	1·533
Mastix Bw.	1·560
Marköl, kalt Bw.	1·525
" geschmolzen Bw.	1·481
Meionit Bw.	1·606
Mellit Bw.	1·556
" "	1·538
Mesotyp, Mar. Bw.	1·522
" Min. Bw.	1·516
Methylen, essigs. Becq. et Cah.	1·361
Mohnöl Bw.	1·463
Muskatnußöl Wol.	1·497
Myrrhe Bw.	1·524
Naphtha Becq. et Cah.	1·409
" Yg.	1·475
Naphthol Becq. et Cah	1·500
Nelkenöl Becq. et Cah.	1·504
Nußöl Hers.	1·490
" Bw.	1·507
Obsidian Bw.	1·488

Name der Körper	Brechungsexponent
Oenanthäther Becq. et Cah.	1·427
Olibanum-Gummi Bw.	1·544
Olivenöl Wol.	1·469
" Bw.	1·470
Opium Yg.	1·559
Orangeschalensaft Bw.	1·403
Oraläther Becq et Cah.	1·406
Palmöl Yg.	1·475
Pech, gemeines Bw.	1·530
" Burgunder Bw.	1·546
" " Bw.	1·560
Perlen Bw.	1·653
Petrolin Dev.	1·485
Pfeffermünzöl Yg.	1·473
" Dev.	1·466
Phosphor Bw.	1·224
" in Schwefelkohlenstoff gelöst Mx.	1·708
Phosphorglas Bw.	1·532
Phosphorsäure, flüssige Bw.	1·426
" " Mx.	1·460
Pimentöl Bw.	1·503
Platin in Königswass. gelöst Wol.	1·370
Pyrop Bw.	1·792
Quarz, extr. Mal.	1·558
" ord. Mal.	1·548
" ord. Strahl H . Rud.	1·55817
" " " G . "	1·55425
" " " F . "	1·54965
" " " E . "	1·54711
" " " D . "	1·55418
" " " C . "	1·54181
" " " B . "	1·54090
" extraord. Strahl H . "	1·56772
" " " G . "	1·56365
" " " F . "	1·55894
" " " E . "	1·55631
" " " D . "	1·55328
" " " C . "	1·55085
" " " B . "	1·54990
Quecksilber (wahrscheinlich) Hers.	5·829
Quecksilberchlorid Bw.	1·970
Rautenöl Bw.	1·433
" "	1·449
Realgar, künstl. Bw.	1·549
Retinaphthen Becq. et Cah.	1·500
Ricinusöl Bw.	1·490
Rodiumholzöl Bw.	1·500
Rosenholzöl Bw.	1·505
Rhum Yg.	1·360
Rosmarinöl Bw.	1·469
" Yg.	1·472
Rubin Bw.	1·779
Rüböl Bw.	1·475
Salmiaklösung, concentrirte Mx.	1·393

Name der Körper	Brechungsexponent
Salpeter, spez. Gew 1·84 Bw.	1·410
" " " " Mx.	1·391
Salpetrige Säure Bw.	1·396
Salzsäure, concentr. Bw.	1·401
" " Bw.	1·4098
" spez. Gew. 1·134 Bw.	1·392
Sandarak Bw.	1·538
Saphir, weiß Wol.	1·768
" blau Bw.	1·794
Sassafrasöl Bw.	1·532
" Wol.	1·536
" in Alkohol Wol.	1·405
Schellak Bw.	1·525
Schildpatt Hy.	1·598
Schwefel, natürlicher Wol.	2·040
" gegossen Bw.	2·048
" geschmolzen Bw.	2·10
" in Schwefelwasserstoff gelöst Mx.	1·693
Schwefelbalsam Bw.	1·497
" Mx.	1·532
Schwefelchlorid Bw.	1·67
Schwefelkali Wol.	1·375
Schwefelkohlenstoff Hers.	1·68
" bei—0°56 Bar.	1·643
" " 13°89 Bar.	1·634
" " 28°89 Bar.	1·625
Schwefelkalk Bw.	1·375
Schwefelsäure, spezifisches Gew. 1.840 Mx.	1·440
" " " Wol.	1·435
" " " New.	1·428
Schwefelwasserstoff, tropfbarer Far.	1·767
Segenbaumöl Bw.	1·482
Seife von Windsor Yg.	1·487
" neapolitanische Yg.	1·479
Seifengeist Eul.	1·4088
Selenit Wol.	1·525
Selterwasser Eul.	1·3353
Soda, salpetersaur. Mx.	1·418
" unterschwefelsaure, Max. Hers.	1·785
" " Min. Hers.	1·735
" geschmolzen Yg.	1·411
Silber, salpetersaures Max. Bw.	1·788
" " Min. Bw.	1·729
Smaragd Bw.	1·585
Spargelstein Yg.	1·657
Spermazetöl Yg.	1·454
Speichel Yg.	1·339
Spießglanz, salzsaur. Wol.	1·420
" in Alkohol Wol.	1·410
Spießglanzglas New.	1·889

Name der Körper	Brechungsexponent	Name der Körper	Brechungsexponent
Spinell . . . . Wol.	1·812	Thran . . . . Bw.	1·483
Stärkmehl	1·504	Tragant-Gummi . . . . Bw.	1·520
Steinsalz, grüne Strahlen Hers.	1·4985	Turmalin . . . . Bw.	1·668
„ rothe . . . . Hers.	1·4929	Valeriansäure . . . Becq. et Cah.	1·406
Stilbit . . . . Bw.	1·508	Vogelleim . . . . Bw.	1·506
Storax . . . . Bw.	1·584	Wachholderöl . . . . . Bw.	1·473
Strontian, kohlensaurer		Wachs, bei $17^{0}5$ . . . . Mal.	1·512
Mar. Bw.	1·700	„ geschmolzen . . Mal.	1·540
„ „ Min. Bw.	1·543	„ siedend . . . . Mal.	1·442
„ unterschwefels. Mar. Hers.	1·651	„ weißes . . . . . Bw.	1·462
„ „ Min. Hers.	1·608	„ gelbes . . . . . Bw.	1·542
Styraxbalsam . . . . . Bw.	1·584	Wachsöl . . . . Cav.	1·452
Tabaköl . . . . Bw.	1·547	Wasser . . . . Wol.	1·336
Tabasheer, gelblich . . Bw.	1·1111	„ gesalzen . . . . Bw.	1·343
„ von Nappore . Bw.	1·1454	Weihrauch . . . . Bw.	1·554
„ „ „ Bw.	1·1503	Wein, Port- . . . . . . Yg.	1·351
„ weiß „ Bw.	1·1825	Weinöl . . . . Yg.	1·379
Talg, kalt . . . . Wol	1·491	Weinsteinsäure, Mar. . . Bw.	1·518
„ geschmolzen . . . . Wol.	1·460	„ Min. . . Bw.	1·578
Terpentin . . . . Bw.	1·545	Wismuth, salpetersaurer	
Terpentinkampfer . . . . Dev.	1·485	„ „ Mar. Bw.	1·89
Terpentinöl . . . . Becq. et Cah.	1·471	„ „ Min. Bw.	1·67
„ verdicktes, kaltes Dev.	1·494	„ „ Mx.	1·446
„ gemeines . . . Wol.	1·476	Wurmholzöl . . . . . Bw.	1·453
„ „ . . . Wol.	1·486	Ysopöl . . . . Bw.	1·485
„ destillirt . . Bw.	1·470	Zink, salzsaures . . . . . Bw.	1·425
Theriak . . . . Bw.	1·500	„ schwefelsaures . . . Bw.	2·260
Thymianöl . . . . . . Bw.	1·477	Zinkblende	2·260
Topas, farbenlos . . . Bw.	1·6102	Zirkon, Mar. . . . . . Bw.	2·015
„ von Brasilien		„ Min. . . . . . Bw.	1·916
„ extr. . . . . . . Bw.	1·6401	Zucker, geschmolzen . . . Bw.	1·554
„ ord. . . . . . . Bw.	1·6329	„ nach öfterem Schmelzen . . . . Bw.	1·555
„ blauer . . . . . Bw.	1·636	Zwergbaumöl . . . . . Bw.	1·483
„ gelber . . . . . Bw.	1·652		

XIII. Tabelle.

Dieselbe Tabelle enthält von 18 in der 1. Colonne mit den fortlaufenden Ziffern bezeichneten und im Anhange der Tabelle mit Bezug auf diese Ziffern namentlich angeführten Glassorten die Brechungsverhältnisse, welche von Ditirou mit großer Sorgfalt und mit den besten Hilfsmitteln bestimmt wurden. (Zur Seite 727.)

Glas Nr.	Dichte	Temperatur (C⁰) entsprechend der		Brechender Winkel	H	G	F	E	D	C	B
		Dichte	Messung								
1	3·417	10⁰·00	19⁰·00	35⁰ 15′ 2″	1·818597	1·806195	1·792420	1·785254	1·777664	1·771761	1·769702
2	2·135	8·75	14·25	36 24 50	1·738154	1·728423	1·718673	1·713134	1·707264	1·702642	1·701050
3	2·011	8·75	18·25	35 5 22	1·727522	1·718725	1·708917	1·703518	1·697967	1·693496	1·691900
4	3·610	10·00	16·00	39 50 30	1·726140	1 717494	1 707645	1·702485	1·696812	1·692469	1·690979
5			15·00	60 5 50	1·725883	1·717111	1·707312	1·702177	1·696515	1·692252	1·690627
6	3·559	10·00	16·00	39 50 30	1·726140	1·717494	1·707645	1·702485	1·696812	1·692469	1·630979
7	2·622	10·00	18·5	60 0 52	1·721645	1·712957	1·703186	1·698082	1·692418	1·688954	1·686612
8	2·613	10·00	14·00	60 1 44	1·635902	1·631390	1·625938	1·622984	1·619538	1·616797	1·616036
9	2·642	10·00	15·5	60 37 59	1·638699	1·633945	1·628388	1·625459	1·622091	1·619340	1·618376
10	2·184	8·5	17·5	39 55 40	1·630805	1·626532	1·621274	1,618629	1·615193	1·612624	1 611668
11	2·713	9·7	18 00	59 58 45	1·630453	1·625994	1·620625	1·617718	1·614367	1·611960	1·610960
12	2·362	9·00	16 00	60 0 56	1·630181	1·625817	1·620620	1·617780	1·610571	1·612126	1·611145
13	2·484	10·00	11·5	59 57 32	1·627094	1·622696	1·617457	1·614660	1.611428	1·608933	1·607933
14	2·835	9 5	16·00	35 29 50	1·620035	1·615929	1·610759	1·607906	1·604759		
15	2·447	10·00	16 00	60 7 30	1·615640	1·611211	1·606123	1·603323	1 600233	1·597770	1·596879
16	1·951	8·5	17·25	35 34 22	1·614820	1·610737	1·605892	1·603116	1·600093	1·597699	1·596664
17	1·523	8·5	17·5	34 55 14	1·614544	1·610425	1·607068	1·502758	1·599400	1·596606	1·595820
18	2·329	8·5	19·25	59 34 22	1·604761	1·600642	1 595808	1·593036	1·590112	1·587683	1·586757

Benennung der Gläser.

Nr. 1 schweres gelbes Borsäure-Flintglas aus der Fabrik des Herrn Feil, Enkels von Guinand; Nr. 2 Fraunhofer'sches Flintglas; Nr. 3 Bontemps'sches Flintglas, vollkommen rein, aber sehr hygrometrisch; Nr. 4 gewöhnliches Guinand'sches Flintglas; Nr. 5 Guinand'sches Flintglas mit Borsäure; Nr. 6 anderes Guinand'sches Flintglas mit Borsäure; Nr. 7 altes Guinand'sches Flintglas, weiß; Nr. 8 Guinand'sches Flintglas mit Borsäure; Nr. 9 Guinand'sches Crownglas mit Borsäure; Nr. 10 gewöhnliches Guinand'sches Crownglas; Nr. 11 venetianisches Glas, sehr trocken; Nr. 12 Guinand'sches Crownglas mit Borsäure (neu, von vorzüglicher Beschaffenheit); Nr. 13 Dolland'sches Crownglas; Nr. 14 Borsäureglas mit einer neuen Base, von Maës und Clémandot in Clichy; Nr. 15 Bontemps'sches Crownglas (sehr schlecht zu optischem Gebrauch); Nr. 16 Borsäureglas mit neuer Base von Maës und Clémandot; Nr. 17 anderes Glas der Art; Nr. 18 Glas von St. Gobin.

XIV. Tabelle.

Zerstreuungsverhältnisse.

dn bedeutet den Unterschied der Brechungs-Exponenten der äußersten Strahlen, $\frac{dn}{n-1}$ den Quotienten aus diesen in den Brechungs-Exponenten für die mittleren Strahlen.

(Zur Seite 729.)

Name der Körper	$\frac{dn}{n-1}$	dn	Name der Körper	$\frac{dn}{n-1}$	dn
Apfelsäure . . Bw.	0·0282	0·011	Diamant . . . . . Bw.	0·038	0·056
Aether . . . . . . Bw	0·037	0·012	Dillsamenöl . . . . Bw.	0·049	0·023
Alaun . . . . . Bw.	0·036	0·017	Eisen, schwefelsaures . Bw.	0·039	0·019
Alkohol . . . . . Bw.	0·029	0·011	Eiweiß, vom Ei . . Bw.	0·037	0·013
Aloe . . . . Bw.	0·085	1·058	Elemiharz . . . . . Bw.	0·039	0·021
Ambra . . . . . . Bw.	0·032	0·012	Epidot . . . . . Bw.	0·035	0·024
Angelikaöl . . . . . Bw.	0·051		Feldkümmelöl . . . Bw.	0·049	0·024
Aniesöl . . . . . . Bw.	0·074	0·044	Feldspath . . . . . Bw.	0·042	0·022
Apophyllit . . . . Hers.	0·031	0·017	Fenchelöl . . . . . Bw.	0·055	0·028
Auge vom Kabeljau			Fenugreköl . . . . Bw.	0·050	0·024
Wasserfeuchtigkeit Bw.	0·035	0·012	Flohkrautöl . . . . Bw.	0·049	0·024
Glasfeuchtigkeit . Bw.	0·035	0·012	Flußspath . . . . . Bw.	0·022	0·010
Axinit . . . . . . Bw.	0·030	0·022	Frauenmünzöl	0·054	0·026
Balsam Canada . . Bw.	0·045	0·024	Gewürznelkenöl . Bw	0·062	0·033
" Copaiva . . . Bw.	0·041	0·021	Glas, gemeines . . . Bosc.	0·036	0·036
" Peruvianischer Bw.	0·093	0·058	" zu Bouteillen Bw.	0·040	0·023
" Styrax . . . Bw.	0·069	0·039	" braunes . . . Bw.	0·044	0·025
" Tolu . . . . Bw.	0·103	0·065	" dunkelrothes . Bw.	0·060	0·044
Baryt, schwefels. . Bw.	0·029	0·019	" purpurrothes . Bw.	0·051	0·031
" kohlens.	0·0285	0·015	" oranges . . Bw.	0·053	0·042
Bergamotöl . . . . Bw.	0·049	0·023	" grünes . . . . Bw.	0·061	0·037
Bernstein	0·041	0·023	" (Flint-) bors.		
Beryll . . . . Bw.	0·037	0·022	Bleioxyd . . Hers.	0·0740	
Bergkrystall ord. . Rud	0·00315	0·01727	" kieselh. albors.		
" extr. . . Rud.	0·00321	0·01782	Bleioxyd . . Hers.	0·0703	
Bibergeil . . . . . Bw.	0·036	0·018	" " . . Bosc.	0·0527	0·032
Bittermandelöl	0·079	0·048	" " . Bw.	0·052	0·029
Blausäure	0·0227	0·080	" " . . Bw.	0·048	0·028
Blei, chroms. Mar. . Bw.	0·400	0·770	" " . . Bw.	0·048	
" " Min. . Bw.	0·262	0·388	" verschiedene		
" essigsaures	0·069	0·040	Sorten . . Bosc.	0·0457	
" kohlens. Mar. Bw.	0·091	0·091	" " " Bw.	0·0525	
" " Min. Bw.	0·066	0·056	" (Crown) grün Bw.	0·036	0·020
" schwefelsaures . Bw.	0·066	0·056	" verschiedene		
Borax, geschmolzen . . .	0·030	0·014	Sorten . Bosc.	0·033	
Boraxglas . . . . . Bw.	0·026	0·014	" " " "	0·0346	
Cajeputöl . . . . . Bw.	0·044	0·021	Guajak . . . . Bw.	0·066	0·041
Cassiaöl . . . . . . Bw.	0·139	0·089	Gummi, Ammoniak . Bw.	0·063	0·037
Cautschouk . . . . . Bw.	0·052	0·028	" arabisches . Bw.	0·036	0·018
Camillenöl . . . . Bw.	0·046	0·021	Harz, gemeines . . Bw.	0·057	0·032
Chrysoberyll . . . . Bw.	0·025	0·019	Horn . . . . Bw.	0·045	0·025
Chrysolith . . . . . Bw.	0·033	0·022	Kalkspath, ord. . . . Rud.	0·03022	0·0455
Citronensäure . . . Bw.	0·035	0·019	" extr. . . Rud.	0·01389	0·0282
Copal . . . . . Bw.	0·024	0·043	Kümmelöl . . . . Bw.	0·065	0·033
Cryolith . . . . . Bw.	0·022	0·007	Kupfer, schwefelsaures . .	0·036	0·019

Name der Körper		$\frac{dn}{n-1}$	dn
Lavendelöl	Bw.	0·045	0·021
Leim	Bw.	0·041	0·022
Leucit	Bw.	0·035	0·018
Limonienöl	Bw.	0·048	0·023
Majoranöl	Bw.	0·045	0·022
Mastix	Bw.	0·038	0·022
Mohnöl		0·044	0·020
Myrrhengummi	Bw.	0·037	0·020
Nußöl	Bw.	0·043	0·022
Obsidian	Bw.	0·037	0·018
Olibanumgummi	Bw.	0·045	0·024
Olivenöl	Bw.	0·038	0·018
Pappelöl	Bw.	0·044	0·020
Pech, Burgunder	Bw.	0·045	0·024
Pfeffermünzöl	Bw.	0·040	0·019
Phosphor	Bw.	0·128	0·156
Phosphorglas		0·03157	0·017
Phosphorsäure, feste	Bw.	0·032	0·017
„ flüssige		0·0283	0·012
Pimentöl	Bw.	0·052	0·026
Pyrop	Bw	0·033	0·026
Rapsöl	Bw.	0·040	0·019
Rautenöl	Bw.	0·037	0·016
Realgar, geschmolzen	Bw.	0·267	0·394
Rhodiumholzöl	Bw.	0·044	0·022
Rosmarinöl	Bw.	0·042	0·020
Sadebaumöl	Bw.	0·044	0·021
Salpeter, Min.		0·03040	0·009
Salpetrige Säure	Bw.	0·044	0·018
Salpetersäure	Bw.	0·045	0·019
Salzsäure	Bw.	0·043	0·016
Sandarach	Bw.	0·046	0·021
Saphir, blau	Bw.	0·026	0·021
Sassafrasöl	Bw.	0·060	0·032
Schildpatt	Bw.	0·045	0·027
Schwefel, zerschmolz.	Bw.	0·130	0·149
Schwefelbalsam	Bw.	0·045	0·023
Schwefelkohlenstoff, bei			
— 0°56 C.	Bar.		0·03067
„ + 28°89 C.	Bar.		0·03084
Schwefelkupfer	Hers.	0·036	0·019
Schwefelsäure	Bw.	0·031	0·014
Selenit	Bw.	0·037	0·020
Smaragd	Bw.	0·026	0·015
Spinell	Bw.	0·040	0·031
Steinsalz	Bw.	0·053	0·029
Spermazetöl	Bw.	0·041	0·021
Spießglanz, salzs.		0·059	0·026
Strontian, kohlens.			
Mar.	Bw.	0·046	0·032
„ Min.	Bw.	0·027	0·015
„ schwefels.	Bw.	0·024	0·015
Tabaköl		0·064	0·035
Terpentin	Bw.	0·048	0·029
Terpentinöl	Bw.	0·042	0·020
Theeröl	Bw.	0·062	0·032
Topas, bläulich	Bw.	0·025	0·016
„ blau	Bw.	0·024	0·025
Turmalin	Bw.	0·028	0·019
Thymianöl	Bw.	0·050	0·024
Wachholdergummi	Bw.	0·046	0·025
Wachholderöl	Bw.	0·047	0·022
Wasser	Bw.	0·035	0·012
Weihrauch	Bw.	0·048	0·028
Weinöl	Bw.	0·032	0·012
Wurmholzöl	Bw.	0·049	0·022
Weinsteinsäure		0·030	0·016
Ysopöl	Bw	0·044	0·022
Zirkon	Bw.	0·044	0·045
Zucker	Bw.	0·036	0·020

Anmerkung. Die in der Tafel XII. und XIV. den Körpern zur Seite stehenden lateinischen Buchstaben sind die abgekürzten Namen der Physiker, von welchen die angeführten Zahlen herrühren und zwar bedeutet: Bar. Barlow; Becq. Becquerel; Bosc. Boscovich; Bw. Brewster; Cah. Cahours; Cav. Cavollo; Dev. Deville; Eul. Euler; Far. Faraday; Fr. Fraunhofer; Hers. Herschel; Hy. Hauy; Mal. Malus; Mx. Marx; Mon. Monro; New. Newton; Roch. Rochon; Rud. Rudberg; Wol. Wollaston; Yg. Young.

XV. Tabelle.

Ausdehnung der Körper durch Wärme.

Lineare Ausdehnung bei 0° C. = 1·000000.

(Zur Seite 826.)

Substanzen	Ausdehnung für 0° — 100° C.		Substanzen	Ausdehnung für 0° — 100° C.	
Antimon	0·00108330	$\frac{1}{923}$	Gold	0·00147500	$\frac{1}{677}$
Blei	0·00288200	$\frac{1}{346}$	" feines (de depart.)	0·00146606	$\frac{1}{682}$
"	0·00286667	$\frac{1}{348}$	" nicht geglüht	0·00155155	$\frac{1}{645}$
"	0·00287300	$\frac{1}{348}$	" geglüht	0·00151361	$\frac{1}{660}$
"	0·00308600	$\frac{1}{324}$	Hartloth, 1 Zink, 2 Kupf.	0·00205833	$\frac{1}{485}$
"	0·00271900	$\frac{1}{367}$	Kalkspath, (rhom. nach		
"	0·00284836	$\frac{1}{351}$	der Hauptaxe)	0·00286000	$\frac{1}{349}$
"	0·00290200	$\frac{1}{344}$	Klempnerloth	0·00250533	$\frac{1}{399}$
Bronze	0·00181667	$\frac{1}{550}$	Kohle von Tannenholz	0·0010	$\frac{1}{1000}$
Eis	0·00245120	$\frac{1}{407}$	" " Eichenholz	0·0012	$\frac{1}{833}$
Eisen	0·00114600	$\frac{1}{872}$	Kupfer	0·00171000	$\frac{1}{584}$
"	0·00117200	$\frac{1}{853}$	" geschlagenes	0·00170000	$\frac{1}{588}$
"	0·00119200	$\frac{1}{838}$	" "	0·00191880	$\frac{1}{521}$
"	0·00110000	$\frac{1}{909}$	" "	0·00179000	$\frac{1}{558}$
" (Schmiede-)	0·00122045	$\frac{1}{819}$	" "	0·00178400	$\frac{1}{560}$
" "	0·00125833	$\frac{1}{794}$	" "	0·00172244	$\frac{1}{581}$
" "	0·00115600	$\frac{1}{865}$	" "	0·00171222	$\frac{1}{584}$
" "	0·00115600	$\frac{1}{865}$	" "	0·00184110	$\frac{1}{543}$
" "	0·00114560	$\frac{1}{872}$	Kupfer 8, Zinn 1 Th.	0·007817	
" "	0·00111155	$\frac{1}{899}$	Marmor von St. Beat.	0·0004181	$\frac{1}{2391}$
" "	0·00111545	$\frac{1}{896}$	" " Carrara	0·0008487	$\frac{1}{1178}$
" "	0·00112330	$\frac{1}{890}$	" " Solst.	0·00056849	$\frac{1}{1769}$
" "	0·00114550	$\frac{1}{872}$	Messing	0·00182300	$\frac{1}{548}$
" "	0·00144600	$\frac{1}{691}$	"	0·00193332	$\frac{1}{517}$
" "	0·00126660	$\frac{1}{789}$	Messingdraht	0·00187821	$\frac{1}{532}$
" "	0·00116800	$\frac{1}{856}$	"	0·00188500	$\frac{1}{530}$
" schwach gehämmert	0·00122045	$\frac{1}{819}$	Messing, gegossen	0·00187500	$\frac{1}{533}$
" zu Draht gezogen	0·00114010	$\frac{1}{877}$	" "	0·00193400	$\frac{1}{517}$
" Guß-	0·00110940	$\frac{1}{901}$	" "	0·00186671	$\frac{1}{535}$
Glas, (Flint- engl.)	0·00081166	$\frac{1}{1298}$	" "	0·00188971	$\frac{1}{529}$
" (Flint- franz.)	0·00087199	$\frac{1}{1147}$	" engl. Stabmessing	0·00189280	$\frac{1}{528}$
" weißes	0·00083333	$\frac{1}{1200}$	" Hamburger	0·00185540	$\frac{1}{538}$
" "	0·00094400	$\frac{1}{1059}$	" Tyroler Tafelmess.	0·00190300	$\frac{1}{525}$
" "	0·00099100	$\frac{1}{1009}$	Palladium	0·00100000	$\frac{1}{1000}$
" "	0·00086100	$\frac{1}{1161}$	Phosphor von 0° — 39°5	0·00142455	
Glasröhre	0·00077615	$\frac{1}{1288}$	Platin	0·00085655	$\frac{1}{1167}$
" von St. Gobain	0·00089089	$\frac{1}{1122}$	"	0·00099180	$\frac{1}{1008}$
" gemeine	0·00087572	$\frac{1}{1142}$	"	0·00085700	$\frac{1}{1167}$
" andere	0·00089760	$\frac{1}{1114}$	"	0·00098390	$\frac{1}{1016}$
" "	0·00091751	$\frac{1}{1090}$	"	0·00090000	$\frac{1}{1111}$
" dünne	0·00092100	$\frac{1}{1085}$	" Silber	0.00197800	$\frac{1}{505}$
" von 0·2 C Glasdicke	0·00091300	$\frac{1}{1095}$	" "	0·00207000	$\frac{1}{483}$
Glasstab	0·00080787	$\frac{1}{1237}$	" "	0·00190500	$\frac{1}{524}$
Glasstange, massive	0·00091900	$\frac{1}{1088}$	" "	0·00198800	$\frac{1}{503}$
" "	0·00092500	$\frac{1}{1081}$	" "	0·00208260	$\frac{1}{480}$
Gold	0·00140100	$\frac{1}{718}$	" Kapellensilber	0·00190974	$\frac{1}{524}$
"	0·00131100	$\frac{1}{762}$	" " Pariser	0·00190868	$\frac{1}{524}$

Substanzen	Ausdehnung für 0° — 100° C.		Substanzen	Ausdehnung für 0° — 100° C.	
Spiegelmetall	0·00193333	1/517	Stein (zum Bau) von St. Leu	0·00064890	1/1541
Spießglanz	0·00108330	1/923	Töpferzeug, braun engl.	0·00012	1/8333
Stahl, gehärtet	0·00122500	1/816	" mit Kohle porös gemacht	0·00004	1/25000
" "	0·00137500	1/727	Weichloth, 1 Zinn, 2 Blei	0·00250533	1/399
" " bei 30° R. angel.	0·00136900	1/730	Wismuth	0·00139167	1/718
" " desgleichen	0·00138600	1/721	Zink, gegossen	0·00294167	1/339
" " bei 65° R. angel.	0·00123956	1/807	" "	0·00305100	1/328
" weicher	0·00107500	1/930	" "	0·00296800	1/337
" "	0·00118990	1/840	" durch Hämmern um 1/12 verlängert	0·00310833	1/322
" "	0·00115000	1/869	Zinkloth, 1 Th. Zink, 2 Th. Kupfer	0·00205833	1/486
" "	0·00107875	1/927	Zinn, gemeines	0·00248300	1/407
" "	0·00107956	1/925	" feines	0·00228330	1/438
" "	0·00110400	1/905	" "	0·00232200	1/430
" "	0·00114470	1/873	" "	0·00255700	1/391
Stahlstange	0·00116000	1/862	" "	0·00216400	1/462
" steirische	0·00115200	1/868	" "	0·00209300	1/477
" (Huntsmann)	0·00107400	1/931	" Falmouth	0·00217290	1/460
" Fischer'scher aus Schaffhausen	0·00111200	1/899	" von Malacca	0·00193765	1/516
Stein zum Bau von St. Pernon	0·00043027	1/2324			

XVI. Tabelle.

Dichte und Volum des Quecksilbers bei verschiedenen Temperaturen.

(Zur Seite 832.)

Temperatur	Dichte	Volumen	Temperatur	Dichte	Volumen	Temperatur	Dichte	Volumen
—20° C.	1·00360	0·99640	— 3° C.	1·00054	0·99946	+14° C.	0·99748	1·00252
19	1·00342	0·99658	2	1·00036	0·99964	15	0·99730	1·00270
18	1·00324	0·99676	1	1·00018	0·99982	16	0·99712	1·00288
17	1·00306	0·99694	0	1·00000	1·00000	17	0·99694	1·00306
16	1·00288	0·99712	+ 1	0·99982	1·00018	18	0·99676	1·00324
15	1·00270	0·99730	2	0·99964	1·00036	19	0·99658	1·00342
14	1·00252	0·99748	3	0·99946	1·00054	20	0·99640	1·00360
13	1·00234	0·99766	4	0·99928	1·00072	21	0·99622	1·00378
12	1·00216	0·99784	5	0·99910	1·00090	22	0·99604	1·00396
11	1·00198	0·99802	6	0·99892	1·00108	23	0·99586	1·00414
10	1·00180	0·99820	7	0·99874	1·00126	24	0·99568	1·00432
9	1·00162	0·99838	8	0·99856	1·00144	25	0·99550	1·00450
8	1·00144	0·99857	9	0·99838	1·00162	26	0·99540	1·00468
7	1·00126	0·99874	10	0·99820	1·00180	27	0·99532	1·00486
6	1·00108	0·99892	11	0·99802	1·00198	28	0·99514	1·00504
5	1·00090	0·99910	12	0·99784	1·00216	29	0·99496	1·00522
4	1·00072	0·99928	13	0·99766	1·00234	30	0·99478	1·00540

XVII. a. Tabelle.

Dichte und Volum des Wassers bei verschiedenen Temperaturen.

(Zur Seite 833.)

Temperatur	Volumen	Dichte	Temperatur	Volumen	Dichte	Temperatur	Volumen	Dichte
0°	1·000000	1·000000	33°	1·005140	0·994887	67	1·020212	0·980191
1	0·999950	1·000050	34	1·005449	0·994580	68	1·020780	0·979645
2	0·999915	1·000080	35	1·005761	0·994272	69	1·021350	0·979099
3	0·999894	1·000106	36	1·006106	0·993931	70	1·021920	0·978550
3·9	0·999882	1·000118	37	1·006452	0·993489	71	1·022531	0·977979
4	0·999888	1·000112	38	1·006799	0·993146	72	1·023143	0·977407
5	0·999897	1·000103	39	1·007147	0·992802	73	1·023756	0·976834
6	0·999919	1·000081	40	1·007496	0·992560	74	1·024370	0·976260
7	0·999956	1·000044	41	1·007898	0·992180	75	1·024986	0·975685
8	0·999996	0·999994	42	1·008207	0·991799	76	1·025603	0·975089
9	1·000069	0·999931	43	1·008610	0·991418	77	1·026221	0·974492
10	1·000145	0·999855	44	1·009021	0·991036	78	1·026840	0·973894
11	1·000235	0·999765	45	1·009434	0·990654	79	1·027459	0·973295
12	1·000338	0·999662	46	1·009859	0·990240	80	1·028072	0·972695
13	1·000453	0·999547	47	1·010285	0·989825	81	1·028728	0·972074
14	1·000581	0·999419	48	1·010712	0·989409	82	1·029385	0·971454
15	1·000720	0·999280	49	1·011139	0·988992	83	1·030043	0·970833
16	1·000872	0·999128	50	1·011570	0·988563	84	1·030702	0·970211
17	1·001035	0·998966	51	1·012033	0·988184	85	1·031304	0·969590
18	1·001210	0·998791	52	1·012497	0·987704	86	1·032047	0·968950
19	1·001397	0·998605	53	1·012962	0·987323	87	1·032731	0·968309
20	1·001594	0·998408	54	1·013438	0·986941	88	1·033416	0·967667
21	1·001802	0·998201	55	1·013894	0·986297	89	1·034102	0·967024
22	1·002022	0·997982	56	1·014382	0·985813	90	1·034791	0·966379
23	1·002251	0·997754	57	1·014891	0·985328	91	1·035500	0·965718
24	1·002491	0·997515	58	1·015392	0·984842	92	1·036210	0·965056
25	1·002741	0·997267	59	1·015894	0·984355	93	1·036921	0·964393
26	1·003001	0·997008	60	1·016398	0·983867	94	1·037633	0·963729
27	1·003271	0·996740	61	1·016930	0·983383	95	1·038346	0·963070
28	1·003549	0·996463	62	1·017464	0·982898	96	1·039078	0·962392
29	1·003837	0·996178	63	1·018000	0·982412	97	1·039811	0·961713
30	1·004216	0·995802	64	1·018538	0·981925	98	1·040545	0·961033
31	1·004523	0·995498	65	1·019078	0·981280	99	1·041280	0·960352
32	1·004831	0·995193	66	1·019644	0·980736	100	1·042016	0·959678

XVII. b. Tabelle.

Volum des Wassers bei verschiedenen Temperaturen.

In dieser Tabelle (von Kopp) ist das Volum beim Siedepunkt (100° C) = 10000 gesetzt und D° bedeutet Temperaturen unter dem Siedepunkt.

(Zur Seite 833.)

D°	Volum	D°	Volum	D°	Volum	D°	Volum	D°	Volum
0	10000	20	9862	40	9747	60	9660	80	9603
5	9963	25	9832	45	9723	65	9643	85	9595
10	9928	30	9802	50	9701	70	9627	90	9589
15	9894	35	9773	55	9679	75	9614	95	9587
								100	9588

XVIII. a. Tabelle.

Volum des Weingeistes bei verschiedener Temperatur.

(Zur Seite 834.)

Temperatur	Volumen	Temperatur	Volumen	Temperatur	Volumen	Temperatur	Volumen
—100	0·948618	—42	0·964239	— 7	0·993052	+22	1·023622
— 98	0·948293	—40	0·965568	— 6	0·994025	23	1·024747
— 96	0·948039	—38	0·966941	— 5	0·995004	24	1·025876
— 94	0·947854	—36	0·968356	— 4	0·995990	25	1·027007
— 92	0·947736	—34	0·969813	— 3	0·996983	26	1·028142
— 90	0·947686	—32	0·971309	— 2	0·997982	27	1·029281
— 88	0·947702	—30	0·972846	— 1	0·998988	28	1·030422
— 86	0·947783	—29	0·973628	0	1·000000	29	1·031566
— 84	0·947929	—28	0·974421	+ 1	1·001018	30	1·032713
— 82	0·948138	—27	0·975222	2	1·002042	31	1·033863
— 80	0·948411	—26	0·976033	3	1·003073	32	1·035016
— 78	0·948744	—25	0·976853	4	1·004109	33	1·036170
— 76	0·949138	—24	0·977682	5	1·005150	34	1·037328
— 74	0·949592	—23	0·978520	6	1·006198	35	1·038487
— 72	0·950105	—22	0·979367	7	1·007250	36	1·039649
— 70	0·950676	—21	0·980223	8	1·008309	38	1·041978
— 68	0·951304	—20	0·981087	9	1·009372	40	1·044314
— 66	0·951988	—19	0·981960	10	1·010441	42	1·046657
— 64	0·952728	—18	0·982841	11	1·011514	44	1·049005
— 62	0·953521	—17	0·983730	12	1·012593	46	1·051357
— 60	0·954368	—16	0·984628	13	1·013676	48	1·053713
— 58	0·955267	—15	0·985533	14	1·014641	50	1·056071
— 56	0·956218	—14	0·986446	15	1·015857	52	1·058431
— 54	0·957220	—13	0·987368	16	1·016954	54	1·060791
— 52	0·958271	—12	0·988297	17	1·018055	56	1·063152
— 50	0·959371	—11	0·989233	18	1·019160	58	1·065511
— 48	0·960518	—10	0·990177	19	1·020270	60	1·067868
— 46	0·961713	— 9	0·991128	20	1·021384	62	1·070222
— 44	0·962953	— 8	0·992086	21	1·022501	64	1·072572
						66	1·074917

XVIII. b. Tabelle.

Volum des Weingeistes bei verschiedenen Temperaturen.

In dieser Tabelle (von Kopp) ist das Volum beim Siedepunkt (78·4° C) = 10000 gesetzt und D° bedeutet Temperaturen unter dem Siedepunkt.

(Zur Seite 834.)

D°	Volum	D°	Volum	D°	Volum	D°	Volum	D°	Volum
0	10000	15	9805	30	9628	45	9465	65	9262
5	9933	20	9744	35	9572	50	9412	70	9213
10	9860	25	9686	40	9518	55	6361	75	9165
						60	9311	80	9117

XIX. Tabelle.

Volumen und Dichte der atmosphärischen Luft bei verschiedenen Temperaturen.

(Zur Seite 834.)

Tempe-ratur	Volumen	Dichte	Tempe-ratur	Volumen	Dichte	Tempe-ratur	Volumen	Dichte
−30	0·88750	1·12676	+14	1·05250	0·95011	+58	1·21750	0·82135
29	0·89125	1·12201	15	1·05625	0·94674	59	1·22125	0·81883
28	0·89500	1·11731	16	1·06000	0·94339	60	1·22500	0·81632
27	0·89875	1·11265	17	1·06375	0·94007	61	1·22875	0·81383
26	0·90250	1·10803	18	1·06750	0·93676	62	1·23250	0·81135
25	0·90625	1·10343	19	1·07125	0·93348	63	1·23625	0·80889
24	0·91000	1·09890	20	1·07500	0·93023	64	1·24000	0·80645
23	0·91375	1·09439	21	1·07875	0·92699	65	1·24375	0·80402
22	0·91750	1·08991	22	1·08250	0·92378	66	1·24750	0·80160
21	0·92125	1·08548	23	1·08625	0·92059	67	1·25125	0·79920
20	0·92500	1·08108	24	1·09000	0·91743	68	1·25500	0·79681
19	0·92875	1·07671	25	1·09375	0·91428	69	1·25875	0·79364
18	0·93250	1·07238	26	1·09750	0·91116	70	1·26250	0·79207
17	0·93625	1·06809	27	1·10125	0·90804	71	1·26625	0·78972
16	0·94000	1·06382	28	1·10500	0·90497	72	1·27000	0·78898
15	0·94375	1·05960	29	1·10875	0·90191	73	1·27375	0·78500
14	0·94750	1·05540	30	1·11250	0·89887	74	1·27750	0·78277
13	0·95125	1·05124	31	1·11625	0·89594	75	1·28125	0·78048
12	0·95500	1·04712	32	1·12000	0·89285	76	1·28500	0·77821
11	0·95875	1·04302	33	1·12375	0·88987	77	1·28875	0·77594
10	0·96250	1·03875	34	1·12750	0·88691	78	1·29250	0·77369
9	0·96625	1·03492	35	1·13125	0·88398	79	1·29625	0·77145
8	0·97000	1·03092	36	1·13500	0·88105	80	1·30000	0·76923
7	0·97375	1·02695	37	1·13875	0·87815	81	1·30375	0·76701
6	0·97750	1·02301	38	1·14250	0·87527	82	1·30750	0·76481
5	0·98125	1·01900	39	1·14625	0·87241	83	1·31125	0.76263
4	0·98500	1·01522	40	1·15000	0·86956	84	1·31500	0·76045
3	0·98875	1·01137	41	1·15375	0·86673	85	1·31875	0·75829
2	0·99250	1·00756	42	1·15750	0·86393	86	1·32250	0·75614
1	0·99625	1·00375	43	1·16125	0·86114	87	1·32625	0·75362
0	1·00000	1·00000	44	1·16500	0·85836	88	1·33000	0·75187
+ 1	1·00375	0·99625	45	1·16875	0·85561	89	1·33375	0·74976
2	1·00750	0·99251	46	1·17250	0·85287	90	1·33750	0·74766
3	1·01125	0·98878	47	1·17625	0·85015	91	1·34125	0·74557
4	1·01500	0·98507	48	1·18000	0·84745	92	1·34500	0·74349
5	1·01875	0·98137	49	1·18375	0·84477	93	1·34875	0·74142
6	1·02250	0·97768	50	1·18750	0·84210	94	1·35250	0·73937
7	1·02625	0·97412	51	1·19125	0·83945	95	1·35625	0.73732
8	1·03000	0·97046	52	1·19500	0·83682	96	1·36000	0·73522
9	1.03375	0·96682	53	1·19875	0·83420	97	1·36375	0·73327
10	1·03750	0·96319	54	1·20250	0·83160	98	1·36750	0·73126
11	1·04125	0·96038	55	1·20625	0·82901	99	1·37125	0·72926
12	1·04500	0·95693	56	1·21000	0·82644	100	1·37500	0·72727
13	1·04875	0·95351	57	1·21375	0·82389			

XX. a. Tabelle (Zur Seite 841.)

zur Reduktion hoher Grade des 100theiligen Quecksilberthermometers (Q.) auf wahre Wärmegrade (auf Grade des Luftthermometers).

Grade des Q.	Wahre Wärmegrade	Grade des Q.	Wahre Wärmegrade	Grade des Q.	Wahre Wärmegrade	Grade des Q.	Wahre Wärmegrade	Grade des Q.	Wahre Wärmegrade	Grade des Q.	Wahre Wärmegrade
100	100·000	144	142·874	188	185·478	232	227·810	276	269·872	320	311·662
101	100·977	145	143·846	189	186·443	233	228·769	277	270·824	321	312·609
102	101·955	146	144·817	190	187·408	234	229·728	278	271·777	322	313·555
103	102·932	147	145·788	191	188·373	235	230·687	279	272·730	323	314·501
104	103·909	148	146·759	192	189·337	236	231·645	280	273·682	324	315·448
105	104·886	149	147·729	193	190·302	237	232·604	281	274·634	325	316·394
106	105·862	150	148·700	194	191·266	238	233·562	282	275·586	326	317·339
107	106·839	151	149·670	195	192·231	239	234·520	283	276·538	327	318·285
108	107·815	152	150·641	196	193·195	240	235·478	284	277·490	328	319·231
109	108·792	153	151·611	197	194·159	241	236.436	285	278·442	329	320·176
110	109·768	154	152·581	198	195·123	242	237·393	286	279·393	330	321·122
111	110·744	155	153·551	199	196·086	243	238·351	287	280·345	331	322·067
112	111·720	156	154·520	200	197·050	244	239·308	288	281·296	332	323·012
113	112·696	157	155·490	201	108·013	245	240·266	289	282·247	333	323·957
114	113·671	158	156·459	202	198·977	246	241·223	290	283·198	334	324·902
115	114·647	159	157·429	203	199·940	247	242·180	291	284·149	335	325·847
116	115·622	160	158·389	204	200·903	248	243·137	292	285·099	336	326·791
117	116·597	161	159·367	205	201·866	249	244·093	293	286·050	337	327·736
118	117·572	162	160·336	206	202·828	250	245·050	294	287·000	338	328·680
119	118·547	163	161·305	207	203·791	251	246·006	295	287·950	339	329·624
120	119·522	164	162·273	208	204·753	252	246·963	296	288·901	340	330·568
121	120·497	165	163·242	209	205·716	253	247·919	297	289·851	341	331·512
122	121·471	166	164·210	210	206·678	254	248·875	298	290·800	342	332·455
123	122·445	167	165·178	211	207·640	255	249·831	299	291·750	343	333·399
124	123·420	168	166·146	212	208·602	256	250·786	300	292·700	344	334·342
125	124·394	169	167·144	213	209·564	257	251·742	301	293·649	345	335·286
126	125·368	170	168·082	214	210·525	258	252·697	302	294·599	346	336·229
127	126·341	171	169·050	215	211·487	259	253·653	303	295·548	347	337·172
128	127·315	172	170·017	216	212·448	260	254·608	304	296·497	348	338·115
129	128·289	173	170·984	217	213·409	261	255·563	305	297·446	349	339·057
130	129·262	174	171·952	218	214·370	262	256·518	306	298·394	350	340·000
131	130·235	175	172·919	219	215·331	263	257·473	307	299·343	351	340·942
132	131·208	176	173·886	220	216·292	264	258·427	308	300·291	352	341·885
133	132·181	177	174·852	221	217·253	265	259·382	309	301·240	353	342·827
134	133·154	178	175·819	222	218·213	266	260·336	310	302·188	354	343·769
135	134·126	179	176·786	223	219·173	267	261·290	311	303·136	355	344·711
136	135·099	180	177·752	224	220·134	268	262·244	312	304·084	356	345·652
137	136·071	181	178·718	225	221·093	269	263·198	313	305·032	357	346·594
138	137·044	182	179·684	226	222·053	270	264·152	314	305·979	358	347·535
139	138·016	183	180·650	227	223·013	271	265·106	315	306·927	359	348·476
140	138·988	184	181·616	228	223·973	272	266·059	316	307·874	360	349·418
141	139·960	185	182·582	229	224·932	273	267·012	317	308·821		
142	140·931	186	183·547	230	225·892	274	267·966	318	309·768		
143	141·903	187	184·513	231	226·851	275	268·919	319	310·715		

XX. b. Tabelle.

Nach Regnault findet folgendes Verhältniß der Luft- und Quecksilberthermometergrade Statt.

(Zur Seite 841.)

Luftth. Grade	Quecksilberth. Grade	Luftth. Grade	Quecksilberth. Grade	Lufth. Grade	Quecksilberth. Grade	Luftth. Grade	Quecksilberth. Grade
0	0	150	150	250°	250·3	325	326·9
50°	50·2	200	200	300	301·2	350	353·3

XXI. Tabelle.

Schmelz- und Siedetemperatur der wichtigsten Körper.

(Zu Seite 850.)

(W. bedeutet Grade des Wedgewoodschen, D. Grade des Daniell'schen Pyrometers und die Grade, bei denen weder W. noch D. steht, sind Celsius'sche Thermometergrade.) Die Grade, denen P zur Seite steht, sind in neuester Zeit von J. Pierre gefunden worden.

Name der Körper	Temperatur des Schmelzens	Temperatur des Siedens
Aldehyd	—	22^0 P.
Alaunlösung, 64 Th. Salz, 36 Was.	—	102 2
Alkohol, absoluter	—	78·3 P.
„ 1 Th. Alkohol, 1 Th. Wasser	-21^0	—
„ 2 Th. Alkohol, 1 Th. Wasser	-23^0	—
Ammoniak, flüssiges, concentrirt	-50^0	42^0
„ salzsaures, 1 Th. Salz. 4 Th. Wasser	$-13^0 4$	$113^0 3$
Antimon	513^0	—
Arsenik	210	—
Arsenikwasserstoff	—	$-22^0 4$
Bernstein	288	—
Bergnaphtha	—	$106^0 2$
Blausäure, wasserfrei	—	$26^0 5$
„ wässerige	—	$32^0 8$
Blei	334	—
Blut	$-3^0 9$	—
Blutlaugensalz, 55 Salz, 45 Waff.	—	$103^0 3$
Borsäure in Wasser gelöst	—	103^0
Brom	-20^0	63^0 P.
Bromantimon	94^0	270^0
Bromkohlenstoff	0^0	—
Butter	32^0	—
Buttersäure	-9^0	—
Cacaobutter	50^0	204^0
Campher	175^0	—
Cerium	170 W.	—
Chlor, tropfbares	-19^0	—
Chloroform	$63^0 5$ P.	—
Chrom	170 W.	—
Colophonium	135^0	—
Copaivabalsam	—	212^0
Cyan	—	-18^0
Eis	0^0	—
Eisen, weißes Gußeis.	1050 — 1100	—
„ graues „	1200	—
„ gehämmertes engl.	1600	—
Emailfarben	6 W.	—
Essigsäure	—30	—
Flußsäure, concentr.	unter -40^0	über 25^0
Fuselöl, der Kartoffel	unter -18^0	125^0
Gold	1200 — 1250	—
Chlorcalcium, krystallisirtes	—	150^0
Holzgeist	—	63·0 P.
Hydrothionsäure	—	$-17^0 8$
Inulin	100^0	—
Jod	107	180
Iridium	über 160 W.	—
Kalium	58^0	—
Kali, ätzendes	—	$157^0 8$
„ kohlensaures, gesätt. Lösung	—	$133^0 0$
„ chlors., gelöst, 40 Th. Salz, 60 Th. Wasser	—	$103^0 3$
„ salpetersaur., gesätt. Lösung	—	$115^0 9$
„ schwefelsaur., 18 Th. Salz, 82 Th. Wasser	—	103
„ neutral., weinsteinsaur. gesätt. Lösung	—	$114^0 67$
Kalilauge, concentr.	—	175
Kobalt	9940	—
Kochsalz, gesätt. Lös.	—	$108^0 4$
Kohlenwasserstoff, vom comprimirten Oelgas	$-22^0 5$	—
Kupfer	1080	—
Kupferlösung, essigs. 16 Th. Salz, 84 Th. Wasser	—	$101^0 1$
„ schwefels. 42 Th. Salz, 58 Th. W.	$-2^0 2$	—
Leinöl	-20^0	388
Mangan	12100^0	—
Margarinsäure	60^0	—
Messing, aus 1 Th. Zink, 1 Th. Kupf.	912	—
„ aus 1 Th. Zink, 3 Th. Kupfer	970	—
Metallgemische, Rose'sches	94^0	—
„ d'Arzet'sches	$93^0 7$	—

Name der Körper	Temperatur des Schmelzens	Temperatur des Siedens
Milch	— 1	—
Molybden	170 W.	—
Naphtha, Berg-	—	160
Naphthalin	78	210
Natrium	90	—
Natron, ätzendes, gesätt Lös.	—	215°5
" essigs. " "	—	124°37
" kohlens. " "	—	104°6
" phosphors. " "	—	106°5
" salpeters. " "	—	121°0
Nikel	unter 160 W.	—
Olivenöl	2°5	—
Osmium	über 160 W.	—
Oxalsäure, gesät. Lös.	—	121°1
Packfong	1200°	—
Palladium	über 160 W.	—
Palmöl	29	—
Perubalsam	—	287°
Petroleum	—	85°
Pfeffermünzöl	—22°	—
Phosphor	42°	290°
Platin	170 W.	—
Quecksilber	—40°·5	360°
" -Sublimatlösung	—	101
Ricinusöl	—18	—
Rhodium	über 160 W.	—
Salpeter, s. salpeters. Kali u. Natron.		
Salpetersäure, rauchende von 1·42 spez. Gew.	—53°8	120°
Salpetersäurehydrat	—	80°
Salpeteräther	—	22°
Salzsäure, conc., von 1·166 spez. Gew.	—19°2	76°7
" 1·144 " "	—	100°
" 1·094 " "	—	111°1
" 1·009 " "	—	101°1
Schwefel	111°	316°
Schwefeläther	—	35°66
Schwefelkohlenstoff	—	47°9 P.
Schwefelsäure, conc.	—	325°
" von spez. G. 1·842	—	285°
" " " " 1·833	—	268°3
" " " " 1·819	—	252°8
" " " " 1·801	—	237°7
" " " " 1·769	—	216°6
" " " " 1·757	—	210°
" " " " 1·730	—	199°4
" " " " 1·670	—	182°2
" " " " 1·520	—	143°3
" " " " 1·30	—	115°5
" " " " 1·10	—	103°3
Schweflige Säure	—	—8° P.
Selen	102°	—
Silber	1000°	—
Spermacet	61°2	—
Stahl, strengflüssiger	1400°	—
Stearin	49°	—
Stearinsäure	70	—
Stickstoffoxydul	—	18
Talg	33°	—
Terpentinöl	10°	156°
Tellur	322°	—
Thran	—	332
Titan	über 170 W.	—
Uran	über 170 W.	—
Wachs, gelbes	61°	—
" weißes	68°	—
Wasser bei Luftdr. von 341 par. Linien	—	100°·495
" 340 " "	—	100°·414
" 339 " "	—	100°·330
" 338 " "	—	100°·248
" 337 " "	—	100°·165
" 336 " "	—	100°·082
" 335 " "	—	100°·000
" 334 " "	—	99°·918
" 333 " "	—	99°·834
" 332 " "	—	99°·750
" 331 " "	—	99°·616
" 330 " "	—	99°·582
" 329 " "	—	99°·474
" 328 " "	—	99°·415
" 327 " "	—	99°·331
" 326 " "	—	99°·246
" 325 " "	—	99°·161
" 324 " "	—	99°·076
" 323 " "	—	98°·990
" 322 " "	—	98°·905
" 321 " "	—	98°·819
" 320 " "	—	98°·732
" 319 " "	—	98°·656
" 315 " "	—	98°·300
" 310 " "	—	97°·862
" 305 " "	—	97°·419
" 300 " "	—	96°·968
Wasser, Meer-	—5°	103°7
Wein, starker	—7°	—
Weinessig	—2°2	—
Wismuth	275°	—
" 8 Th. legirt mit 5 Th. Blei u. 3 Zinn	100°	—
" 8 Th. legirt mit 8 Th. Blei u. 3 Zinn	99	—
Wolfram	über 170 W.	—
Zink	433°·3	—
Zinn	235°	—
" 1 Th. mit 4 Th. Wismuth u. 1 Th. Blei legirt	94°	—

XXII. Tabelle.

Für thermometrische Höhenmessung.

(Zur Seite 867.)

Siede-temp. nach C.	Spannkraft in Millimetern	Siede-temp. nach C.	Spannkraft in Millimetern	Siede-temp. nach C.	Spannkraft in Millimetern	Siede-temp. nach C.	Spannkraft in Millimetern
85·0	433·04	89·0	505·76	93·0	588·41	97·0	682·03
85·1	434·75	89·1	507·70	93·1	590·61	97·1	684·52
85·2	436·46	89·2	509·65	93·2	592·82	97·2	687·02
85·3	438·17	89·3	511·60	93·3	595·04	97·3	689·53
85·4	439·89	89·4	513·56	93·4	597·26	97·4	692·04
85·5	441·62	89·5	515·53	93·5	599·49	97·5	694·56
85·6	443·35	89·6	517·50	93·6	601·72	97·6	697·08
85·7	445·09	89·7	519·48	93·7	603·97	97·7	699·61
85·8	446·84	89·8	521·46	93·8	606·22	97·8	702·15
85·9	448·59	89·9	523·45	93·9	608·48	97·9	704·70
86.0	450·34	90.0	525·45	94·0	610·74	98·0	707·26
86·1	452·10	90·1	527·45	94·1	613·01	98·1	709·82
86·2	453·87	90·2	529·46	94·2	615·29	98·2	712·39
86·3	455·64	90·3	531·48	94·3	617·58	98·3	714·97
86·4	457·42	90·4	533·50	94·4	619·87	98·4	717·56
86·5	459·21	90·5	535·53	94·5	622·17	98·5	720·15
86·6	461·00	90·6	537·57	94·6	624·48	98·6	722·75
86·7	462·80	90·7	539·61	94·7	626·79	98·7	725·35
86·8	464·60	90·8	541·66	94·8	629·11	98·8	727·96
86·9	466·41	90·9	543·72	94·9	631·44	98·9	730·58
87·0	468·22	91·0	545·78	95·0	633·78	99·0	733·21
87·1	470·04	91·1	547·85	95·1	636·12	99·1	735·85
87·2	471·87	91·2	549·92	95·2	638·47	99·2	738·50
87·3	473·70	91·3	552·00	95·3	640·83	99·3	741·16
87·4	475·54	91·4	554·09	95·4	643·19	99·4	743·83
87·5	477·38	91·5	556·19	95·5	645·57	99·5	746·50
87·6	479·23	91·6	558·29	95·6	647·95	99·6	749·18
87·7	481·08	91·7	560·39	95·7	650·34	99·7	751·87
87·8	482·94	91·8	562·51	95·8	652·73	99·8	754·57
87·9	484·81	91·9	564·63	95·9	655·13	99·9	757·28
88·0	486·69	92·0	566·76	96·0	657·54	100·0	760·00
88·1	488·57	92·1	568·89	96·1	659·95	100·1	762·73
88·2	490·45	92·2	571·03	96·2	662·37	100·2	765·46
88·3	492·34	92·3	573·18	96·3	664·80	100·3	768·20
88·4	494·24	92·4	575·34	96·4	667·24	100·4	771·95
88·5	496·15	92·5	577·50	96·5	669·69	100·5	773·71
88·6	498·06	92·6	579·76	96·6	672·14	100·6	776·48
88·7	499·98	92·8	581·84	96·7	674·60	100·7	779·26
88·8	501·90	92·7	584·02	96·8	677·07	100·8	782·04
88·9	503·82	92·9	586·21	96·9	679·55	100·9	784·83
						101·0	787·63

XXIII. Tabelle.

A. Spannkräfte des Wasserdampfes, ausgedrückt in Atmosphären von 0·760 Meter (28·851 Wiener Zoll) Barometerstand.

(Zur Seite 856.)

Spannkraft	Temperatur nach Cels.	Unterschiede d. Temp.	Spannkraft	Temperatur nach Cels.	Unterschiede d. Temp.	Spannkraft	Temperatur nach Cels.	Unterschiede d. Temp.
0·05	32·864	14·000	3·75	142·054	1·425	14·25	197·460	0·826
0·10	46·864	8·762	3·90	143·479	0·924	14·50	198·286	0·814
0·15	56·626	5·270	4·00	144·403	0·906	14·75	199·100	0·802
0·20	60·896	4·819	4·10	145·309	1·328	15·00	199·902	0·791
0·25	65·715	4·063	4·25	146·637	1·300	15·25	200·693	0·783
0·30	69·778	3·534	4·40	147·937	0·822	15·50	201·476	0·773
0·35	73·312	3·125	4·50	148·769	2·066	15·75	202·249	0·762
0·40	76·437	2·810	4·75	150·835	1·928	16·00	203·011	0·754
0·45	79·247	2·579	5·00	152·763	1·880	16·25	203·765	0·743
0·50	81·826	2·264	5·25	154·643	1·808	16·50	204·508	0·734
0·55	84·090	2·180	5·50	156·451	1·744	16·75	205·242	0·726
0·60	86·270	2·130	5·75	158·195	1·685	17·00	205·968	0·718
0·65	88·400	1·933	6·00	159·880	1·629	17·25	206·686	0·709
0·70	90·333	1·807	6·25	161·509	1·578	17·50	207·395	0·700
0·75	92·140	1·757	6·50	163·087	1·530	17·75	208·095	0·695
0·80	93·897	1·615	6·75	164·617	1·487	18·00	208·790	0·686
0·85	95·512	1·579	7·00	166·104	1·445	18·25	209·476	0·677
0·90	97·091	1·497	7·25	167·549	1·404	18·50	210·153	0·672
0·95	98·588	1·412	7·50	168·953	1·369	18·75	210·825	0·664
1·00	100·000	2·684	7·75	170·322	1·333	19·00	211·489	0·656
1·10	102·684	2·595	8·00	171·655	1·300	19·25	212·145	0·652
1·20	105·179	1·182	8·25	172·955	0·271	19·50	212·797	0·641
1·25	106·361	1·149	8·50	174·226	1·240	19·75	213·438	0·638
1·30	107·510	2·190	8·75	175·466	1·211	20·00	214·076	0·631
1·40	109·700	2·049	9·00	176·677	1·184	20·25	214·707	0·625
1·50	111·749	1·979	9·25	177·864	1·157	20·50	215·332	0·619
1·60	113·728	1·862	9·50	179·021	1·133	20.75	215·951	0·612
1·70	115·590	0·927	9·75	180·154	1·119	21·00	216·563	0·607
1·75	116·517	0·849	10·00	181·273	1·092	21·25	217·170	0·600
1·80	117·366	1·699	10·25	182·365	1·069	21·50	217·770	0·595
1·90	119·065	1·629	10·50	183·434	1·051	21·75	218·365	0·591
2·00	120·694	1·564	10·75	184·485	1·030	22·00	218·956	0·584
2·10	122·258	2·239	11·00	185·515	1·014	22·25	219·540	0·579
2·25	124·497	2·125	11·25	186·529	0·994	22·50	220·119	0·576
2·40	126·622	1·351	11·50	187·523	0·977	22·75	220·695	0·568
2·50	127·973	1·314	11·75	188·500	0·961	23·00	221·263	0·564
2·60	129·287	1·892	12·00	189·461	0·946	23·25	221·827	0·561
2·75	131·179	1·817	12·25	190·407	0·931	23·50	222·388	0·551
2·90	132·996	1·188	12·50	191·338	0·913	23·75	222·942	0.550
3·00	134·184	1·156	12·75	192·251	0·902	24·00	223·492	1·087
3·10	135·340	1·614	13·00	193·153	0·887	24·50	222·579	1·070
3·25	136·954	1·572	13·25	194·040	0·874	25·00	225·649	1·053
3·40	138·516	1·061	13·50	194·914	0·861	25·50	226·702	1·034
3·50	139·577	1·009	13·75	195·775	0·848	26·00	227·736	1·021
3·60	140·586	1·478	14·00	196·623	0·837	26·50	228·757	1·007
3·75	142·054		14·25	197·460		27·00	229·764	

Spann-kraft	Temperat. nach Cels.	Unter-schiede d. Temp.	Spann-kraft	Temperatur nach Cels.	Unter-schiede d. Temp.	Spann-kraft	Temperatur nach Cels.	Unter-schiede d. Temp.
27.00	229.764	0.988	33.00	240.788	0.845	39.00	250.309	0.743
27.50	230.752	0.975	33.50	241.633	0.833	39.50	251.052	0.727
28.00	231.727	0.961	34.00	242.466	0.824	40.00	251.779	1.441
28.50	232.688	0.950	34.50	243.290	0.815	41.00	253.220	1.415
29.00	233.638	0.934	35.00	244.105	0.805	42.00	254.635	1.385
29.50	234.572	0.924	35.50	244.910	0.796	43.00	256.020	1.362
30.00	235.496	0.909	36.00	245.706	0.789	44.00	257.282	1.338
30.50	236.405	0.900	36.50	246.495	0.777	45.00	258.720	1.312
31.00	237.305	0.887	37.00	247.272	0.773	46.00	260.032	1.290
31.50	238.192	0.878	37.50	248.045	0.761	47.00	261.322	1.279
32.00	239.070	0.864	38.00	248.806	0.755	48.00	262.591	1.246
32.50	238.934	0.854	38.50	249.561	0.748	49.00	263.837	1.227
33.00	240.788		39.00	250.309		50.00	265.064	

B. Spannkräfte des Wasserdampfes nach Versuchen von Magnus.

(Zur Seite 856.)

Temperat. nach Cels.	Spann-kraft in Millimet.	Temperat. nach Cels.	Spann-kraft in Millimet.	Temperat. nach Cels.	Spann-kraft in Millimet.	Temperat. nach Cels.	Spann-kraft in Millimet.	Temperat. nach Cels.	Spann-kraft in Millimet.
−20	0.916	+ 8	7.964	+36	44.268	+64	178.397	+92	566.147
−19	0.999	9	8.525	37	46.758	65	186.601	93	587.836
−18	1.089	10	9.126	38	49.368	66	195.124	94	610.217
−17	1.186	11	9.751	39	52.103	67	203.975	95	633.305
−16	1.290	12	10.421	40	54.969	68	213.166	96	657.120
−15	1.403	13	11.130	41	57.969	69	222.706	97	681.683
−14	1.525	14	11.882	42	61.109	70	232.606	98	707.000
−13	1.655	15	12.677	43	64.396	71	242.877	99	733.100
−12	1.796	16	13.519	44	67.833	72	253.530	100	760.000
−11	1.947	17	14.409	45	71.427	73	264.577	101	787.718
−10	2.109	18	15.351	46	75.185	74	276.029	102	816.273
− 9	2.284	19	16.345	47	79.111	75	287.898	103	845.683
− 8	2.471	20	17.396	48	83.212	76	300.193	104	875.971
− 7	2.671	21	18.505	49	87.494	77	312.934	105	907.157
− 6	2.886	22	19.675	50	91.965	78	326.127	106	939.260
− 5	3.115	23	20.909	51	96.630	79	339.786	107	972.296
− 4	3.361	24	22.211	52	101.497	80	353.926	108	1006.300
− 3	3.624	25	23.582	53	106.572	81	368.558	109	1041.278
− 2	3.905	26	25.026	54	111.864	82	383.697	110	1077.261
− 1	4.205	27	26.547	55	117.378	83	399.357	111	1114.268
0	4.525	28	28.148	56	123.124	84	415.552	112	1152.321
+ 1	4.867	29	29.832	57	129.109	85	432.295	113	1191.444
+ 2	5.231	30	31.602	58	135.341	86	449.603	114	1231.660
+ 3	5.619	31	33.464	59	141.829	87	467.489	115	1272.986
+ 4	6.032	32	35.419	60	148.579	88	485.970	116	1315.462
+ 5	6.471	33	37.473	61	155.603	89	505.060	117	1359.094
+ 6	6.939	34	39.630	62	162.908	90	524.775	118	1403.915
+ 7	7.436	35	41.893	63	170.502	91	545.133		

C. Spannkräfte des Wasserdunstes nach den neuesten Versuchen von Regnault berechnet.

(Zur Seite 856.)

Temperat. nach Cels.	Spann-kraft in Millimet.	Temperat. nach Cels.	Spann-kraft in Millimet.	Temperat. nach Cels.	Spann-kraft in Millimet.	Temperat. nach Cels.	Spann-kraft in Millimet.	Temperat. nach Cels.	Spann-kraft in Millimet.
−32	0·310	+21	18·495	+74	276·624	+127	1854·20	+180	7546·39
−31	0·336	22	19·659	75	288·517	128	1911·47	181	7721·37
−30	0·365	23	20·888	76	300·838	129	1970·15	182	7899·52
−29	0·397	24	22·184	77	313·600	130	2030·28	183	8080·84
−28	0·431	25	23·550	78	326·811	131	2091·94	184	8265·40
−27	0·468	26	24·988	79	340·488	132	2155·03	185	8453·23
−26	0·509	27	26·505	80	354·643	133	2219·69	186	8644·35
−25	0·553	28	28·101	81	369·287	134	2285·92	187	8838·82
−24	0·602	29	29·782	82	384·435	135	2353·73	188	9036·68
−23	0·654	30	31·548	83	400·101	136	2423·16	189	9237·95
−22	0·711	31	33·406	84	416·298	137	2494·23	190	9442·70
−21	0·774	32	35·359	85	433·041	138	2567·00	191	9650·93
−20	0·841	33	37·411	86	450·344	139	2641·44	192	9862·71
−19	0·916	34	39·565	87	468·221	140	2717·63	193	10078·04
−18	0·996	35	41·827	88	486.687	141	2795·57	194	10297·01
−17	1·084	36	44·201	89	505·759	142	2875·30	195	10519·63
−16	1·179	37	46·691	90	525·450	143	2956·86	196	10745·95
−15	1·284	38	49·302	91	545·778	144	3040·26	197	10975·00
−14	1·398	39	52·039	92	566·757	145	3125·55	198	11209·82
−13	1·521	40	54·906	93	588·406	146	3212·74	199	11447·46
−12	1·656	41	57·910	94	610·740	147	3301·87	200	11688·96
−11	1·803	42	61·055	95	633·778	148	3392·98	201	11934·37
−10	1·963	43	64·346	96	657·535	149	3486·09	202	12183·69
−9	2·137	44	67.790	97	682·029	150	3581·23	203	12437·00
−8	2·327	45	71·391	98	707·280	151	3678·43	204	12694·30
−7	2·533	46	75·158	99	743·305	152	3777·74	205	12955·66
−6	2·758	47	79·093	100	760·000	153	3879·18	206	13221·12
−5	3·004	48	83·204	101	787·590	154	3982·77	207	13490·75
−4	3·271	49	87·499	102	816·010	155	4088·56	208	13764·53
−3	3·553	50	91·982	103	845·280	156	4196·59	209	14042·53
−2	3·879	51	96·661	104	875·410	157	4306·88	210	14324·18
−1	4·224	52	101·543	105	906·410	158	4419·45	211	14611·32
0	4·600	53	106·636	106	938·310	159	4534·36	212	14902·22
+1	4·940	54	111·945	107	971·140	160	4651·62	213	15197·48
2	5·302	55	117·478	108	1004·910	161	4771·28	214	15497·17
3	5·687	56	123·244	109	1039·650	162	4893·36	215	15801·33
4	6·097	57	129·251	110	1075·370	163	5017·91	216	16109·94
5	6·534	58	135·505	111	1112·090	164	5144·97	217	16423·15
6	6·998	59	142·015	112	1149·830	165	5274·54	218	16740·19
7	7·492	60	148·791	113	1188·610	166	5406·69	219	17063·29
8	8·017	61	155·839	114	1228·470	167	5541·43	220	17390·36
9	8·574	62	163·170	115	1269·410	168	5678·82	221	17722·13
10	9·165	63	170·791	116	1311·470	169	5818·90	222	18058·64
11	9·792	64	178·714	117	1354·660	170	5961·66	223	18399·94
12	10·457	65	186·945	118	1399·020	171	6107·19	224	18746·07
13	11.162	66	195·496	119	1444·550	172	6255·48	225	19097·04
14	11·908	67	204·376	120	1491·280	173	6406·69	226	19452·92
15	12·699	68	213·596	121	1539·250	174	6560·55	227	19813·76
16	13·536	69	223·165	122	1588·470	175	6717·43	228	20179·61
17	14·421	70	233·093	123	1638·960	176	6877·22	229	20550·48
18	15·357	71	243·393	124	1690·76	177	7039·97	230	20926·40
19	16·346	72	254·073	125	1743·88	178	7205·72		
20	17·391	73	265·147	126	1798·35	179	7374·52		

XXIV. Tabelle.

Dichte des Wasserdampfes, jene des Wassers von 0° C. = 1 gesetzt.

(Zur Seite 859.)

Temp.	Dichte	Temp.	Dichte	Temp.	Dichte	Temp.	Dichte
−20	0·00000106	13	0·00001131	30	0·00003023	139·2	0·0018689
−15	0·00000139	14	0·00001204	31	0·00003191	144	0·0021116
−10	0·00000230	15	0·00001281	32	0·00003366	148·3	0·0023547
− 5	0·00000336	16	0·00001359	33	0·00003551	152·2	0·0025918
0	0·00000489	17	0·00001443	34	0·00603743	155·9	0·0028265
1	0·00000523	18	0·00001514	35	0·00003951	159·2	0·0030596
2	0·00000559	19	0·00001626	40	0·00005095	161·5	0·0032896
3	0·00000598	20	0·00001723	50	0·00008272	165·3	0·0035144
4	0·00000638	21	0·00001826	60	0·00012980	168·2	0·0037470
5	0·00000681	22	0·00001937	70	0·00019741	170·8	0·0039706
6	0·00000727	23	0·00002050	80	0·00029088	175·8	0·0044177
7	0·00000773	24	0·00002159	90	0·00042052	180·3	0·0048574
8	0·00000807	25	0·00002295	100	0·00059192	213	0·0090140
9	0·00000882	26	0·00002427	111·7	0·0008602	236·2	0·013011
10	0·00000938	27	0·00002569	120·6	0·0011202	252·5	0·016770
11	0·00000991	28	0·00002710	127·8	0·0013743		
12	0·00001062	29	0·00002863	133·9	0·0016232		

XXV. Tabelle.

Siedpunkt des Wassers an mehreren bewohnten Orten von bekannter Höhe über der Meeresfläche.

(Zur Seite 860.)

Namen der Orte	Höhe in Metern	Siedepunkt in C. Gr.	Namen der Orte	Höhe in Metern	Siedepunkt in C. Gr.
Meierei Antisana (Südamerika)	4101	86·3	Innsbruck	566	98·0
Mincipampa (Peru)	3618	87·9	München	538	98·1
Quito	2908	90·1	Salzburg	452	98·4
Laramaria (Peru)	2860	90·3	Genf und Freiburg	372	98·6
Santa Fè de Bogota	2661	90·9	Regensburg	362	98·7
Cuenza (Quito)	2633	91·0	Moskau	300	99·0
Mexico	2270	92·3	Turin	230	99·1
Hospiz St. Gotthard	2075	92·9	Prag	179	99·3
Dorf St. Veran	2040	93·0	Lyon	162	99·4
St. Remi	1604	94·5	Wien	133	99·5
Dorf Gavarnie (Pyrenäen) . .	1444	95·0	Bologna	121	99·5
Bareges (Pyrenäen)	1269	95·6	Dresden	90	99·6
Palast St. Ildefonso (Spanien)	1155	96·0	Paris (Observatorium 1. Stock)	65	99·7
Bäder des Mont d'Or (Auvergne)	1040	96·5	Rom (Capitol)	46	99·8
Madrid	608	97·8	Berlin	40	99·8

XXVI. Tabelle,

welche den Wassergehalt der atmosphärischen Luft in Milliontheilen des Volums gibt.

(Zur Seite 881.)

Temperatur der Luft nach Celsius	Unterschied im Stande des trockenen und des befeuchteten Thermometers												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
−20°	1·5	0·8	0·1										
19	1·6	0·9	0·2										
18	1·8	1·0	0·3										
17	1·9	1·1	0·4										
16	2·0	1·2	0.5										
15	2·1	1·4	0·6										
14	2·3	1·5	0·8										
13	2·4	1·6	0·9	0·1									
12	2·6	1·8	1·0	0·3									
11	2·7	2·0	1·2	0·4									
10	2·9	2·1	1·3	0·6									
9	3·1	2·3	1·5	0·7									
8	3·3	2·5	1·7	0·9	0·1								
7	3·5	2·7	1·9	1·1	0·3								
6	3·7	2·9	2·1	1·3	0·5								
5	4·0	3·1	2·3	1·5	0·7								
4	4·2	3·4	2·5	1·7	0·9	0·1							
3	4·5	3·6	2·8	1·9	1·1	0·3							
2	4·8	3·9	3·0	2·2	1·4	0·5							
+ 1	5·1	4·2	3·3	2·4	1·6	0·8							
0	5·4	4·5	3·6	2·7	1·9	1·0	0·2						
1	5·7	4·7	3·8	2·9	2·1	1·2	0·4						
2	6·1	5·1	4·1	3·2	2·3	1·4	0·5						
3	6·5	5·4	4·4	3·4	2·5	1·6	0·7						
4	6·9	5·8	4·8	3·7	2·7	1·8	1·0						
5	7·3	6·2	5·1	4·1	3·1	2·1	1·2	0·3					
6	7·7	6·6	5·5	4·5	3·4	2·4	1·4	0·5					
7	8·2	7·0	5·9	4.9	3·8	2·8	1·8	0·8					
8	8·7	7·5	6·4	5·3	4·2	3·2	2·1	1·1	0·2				
9	9·2	8·0	6·9	5·7	4·6	3·6	2·5	1·5	0·5				
10	9·7	8·5	7·3	6·2	5·1	4·0	2·9	1·9	0·9				
11	10·3	9·1	7·9	6·7	5·6	4·4	3·3	2·3	1·2	0·2			
12	10·9	9·7	8·4	7·2	6·0	4·9	3·8	2·7	1·7	0·6			
13	11·6	10·3	9·0	7·8	6·6	5·4	4·3	3·1	2·1	1·0			
14	12·2	10·9	9·6	8·3	7·1	5·9	4·8	3·6	2·5	1·4	0·4		
15	13·0	11·6	10·3	9·0	7·7	6·5	5·3	4·1	3·0	1·9	0·8		
16	13·7	12·3	10·9	9·6	8·3	7·0	5·8	4·6	3·5	2·4	1·3	0·2	
17	14·5	13·1	11·6	10·3	9·0	7·7	6·4	5·2	4·0	2·9	1·7	0·7	
18	15·3	13·8	12·4	11·0	9·6	8·3	7·0	5·8	4·6	3·4	2·2	1·1	
19	16·2	14·7	13·2	11·7	10·3	9·0	7·7	6·4	5·1	3·9	2·8	1·6	
20	17·1	15·5	14·0	12·5	11·1	9·7	8·3	7·0	5·8	4·5	3·3	2·2	
21	18·1	16·5	14·9	13·4	11·9	10·5	9·1	7·7	6·4	5·1	3·9	2·7	
22	19·1	17·4	15·8	14·2	12·7	11·2	9·8	8·4	7·1	5·8	4·5	3·3	
23	20·2	18·5	16·8	15·2	13·6	12·1	10·6	9·2	7·8	6·4	5·2	3·9	
24	21·3	19·5	17·8	16·1	14·5	12·9	11·4	10·0	8·5	7·2	5·8	4·5	
25	22·5	20·6	18·9	17·1	15·5	13·8	12·3	10·8	9·3	7·9	6·5	5·2	3·9
26	23·8	21·8	20·0	18·2	16·5	14·8	13·2	11·6	10·1	8·7	7·3	5·9	4·6
27	25·1	23·1	21·2	19·3	17·5	15·8	14·2	12·6	11·0	9·5	8·1	6·7	5·3
28	26·4	24·4	22·4	20·5	18·7	16·9	15·2	13·5	11·9	10·4	8·9	7·5	6·1
29	27·9	25·8	23·7	21·7	19·8	18·0	16·3	14·6	12·9	11·3	9·8	8·3	6·8

Temperatur der Luft nach Celsius	Unterschied im Stande des trockenen und des befeuchteten Thermometers												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
+ 30°	29·4	27·2	25·1	23·0	21·1	19·2	17·4	15·6	13·9	12·3	10·7	9·1	7·7
31	31·0	28·7	26·5	24·4	22·4	20·4	18·5	16·7	15·0	13·3	11·6	10·1	8·5
32	32·6	30·3	28·0	25·8	23·8	21·7	19·8	17·9	16·1	14·3	12·7	11·0	9·4
33	34·4	31·9	29·6	27·3	25·2	23·1	21·1	19·1	17·3	15·4	13·7	12·0	10·4
34	36·2	33·7	31·2	28·9	26·7	24·5	22·4	20·4	18·5	16·6	14·8	13·1	11·4
35	38·1	35·5	33·0	30·6	28·2	26·0	23·8	21·8	19·8	17·8	16·0	14·1	12·5

XXVII. Tabelle.

Spezifische Wärme mehrerer Körper.

(Die Zahlen, denen R. vorgesetzt ist, rühren von Regnault's in neuerer Zeit vorgenommenen Bestimmungen her.)

(Zur Seite 882.)

1. Feste Körper.

Namen der Körper	Spezif. Wärme	Namen der Körper	Spezif. Wärme
Antimon . . . . R.	0·05077	Kochsalz	0·2300
Arsen . . . . R.	0·08140	Kohle:	
Bergkrystall	0·1894	Kohle aus Anthracit . . . R.	0·2034
Blei . . . . R.	0·03140	Coak (von Cannelkohle) R	0·2031
Bleioxyd, gelbes	0·0680	Coak v. d. Steinkohle . R.	0·2017
Cadmium . . . . R.	0·05669	Steinkohle	0·2009
Eis	0·9000	Anthracit	0·2010
Eisen . . . . R.	0·11379	Kreide	0·2148
Eisenoxyd (Colcothar)	0·1737	Kupfer . . . . R.	0·09515
Eisenoxydul	0·1666	Kupferoxyd	0·2272
Glas, von 0 — 100° C. . . .	0·1770	Messing . . . . R.	0·0939
" " 0 — 300° C. . . .	0·1900	Nickel . . . . R.	0·10863
Glockenspeise	0·1100	Phosphor	0·2514
Gold . . . . R.	0·03244	Palladium . . . . R.	0·05927
Graphit (natürlicher) . . . R.	0·8001	Platin . . . . R.	9·03293
Gußeisen	0·1298	Platinschwamm . . . . . . R.	0·03293
Holz, vom Apfelbaum	0·5700	Roheisen Weiß- . . . . . . R.	0·12983
" " Birnbaum	0·5000	Rose'sches Metall	0·0338
" von der Birke	0·4800	Schwefel . . . . R.	0·20259
" " " Esche	0·5100	Selen . . . . R.	0·08370
" " " Fichte	0·6500	Silber . . . . R.	0·05701
" " " Linde	0·6200	Stahl, weich . . . . R.	0·1165
" " " Pechtanne . . .	0·5800	" gehärtet	0·1175
" " " Tanne	0·6000	Steingut	0·1190
Holzkohle . . . . R.	0·2415	Tellur . . . . R.	0·05155
Theerkohle	0·2608	Thon, gebrannt	0·1850
Jod . . . . R.	0·05412	Wismuth . . . . R.	0·03084
Kalk, gebrannt	0·2170	Zink . . . . R.	0·09555
" kohlensaurer	0·2700	Zinkoxyd	0·136
Kalkhydrat	0·4000	Zinn . . . . R.	0·05623
Kalkspath	0·2046	Zinnoxyd	0·0990
Kobalt . . . . R.	0·10696		

2. Tropfbare flüssige Körper.

Namen der Körper		Spezif. Wärme	Namen der Körper		Spezif. Wärme
Alkohol, gemeiner	R.	0·6058	Olivenöl	R.	0·5040
„ schwächerer	R.	0·8413	Quecksilber	R.	0·0333
„ noch schwächerer	R.	0·9402	Schwefeläther	R.	0·5158
Chlorcalciumlösung	R.	0·6448	Schwefelkohlenstoff		0·329
Citronenöl	R	0·4879	Schwefelsäure, concentrirte		0·3490
Essigsäure	R.	0·4602	Terpentinöl	R.	0·4672
Naphtha		0·493	Wasser		1

3. Gasförmige Körper.

Gase.	Spezifische Wärme		Dichtigkeit
	Gleicher Gewichte	Gleicher Volume	
Acetondampf	0 4125	0·8341	2·0220
Aetherdampf	0·4810	1·2296	2·5563
Alkoholdampf	0·4513	0·7171	1·5890
Ammoniakgas	0·5080	0·2994	0·5894
Benzindampf	0·3754	1·0114	2·6943
Bromgas	0·05518	0·2992	5·39
Bromwasserstoff	0·1816	0·6777	3·7316
Chlorarsen in Dampfform	0·1122	0·7013	6·2510
Chlorgas	0·1214	0 2962	2·4400
Chloroform	0·1568	0·8310	5·30
Chlorwasserstoffäther in Dampfform	0·2737	0 6117	2·2350
Chlorwasserstoffsäure	0 1845	0 2302	1·2474
Chlorphosphor in Dampfform im Minimum	0·1346	0 6386	4·7445
Chlorsilicium „ „	0·1329	0 7788	5·86
Chlortitan „ „	0·1263	0·8634	6·8360
Chlorzinn „ „	0 0939	0.8639	9·2
Cyan „ „	0·4255	0·8293	1·9021
Essigäther	0·4008	1·2184	3·0400
Kohlenoxyd	0·2479	0 2399	0·9674
Kohlensäure	0·2164	0 3308	1·5290
Leuchtgas	0·3694	0·3572	0·9672
Sauerstoff	0·2182	0·2412	1·1056
Schwefel in Dampfform	0·4005	1·2568	3·1380
Schwefelkohlenstoff	0·1575	0·4146	2·6325
Schweflige Säure	0·1553	0·3489	2·2470
Sumpfgas	0·5929	0·3277	0·5527
Stickstoff	0·2440	0·2370	0·9713
Stickstoffoxyd	0·2315	0·2406	1·0390
Stickstoffoxydul	0·2238	0·3413	1·5250
Terpentinöldampf	0·5061	2 3776	4·6978
Wasserdampf	0·4750	0·2950	0·6210
Wasserstoff	3·4046	0·2356	0·0692

Verbesserung sinnstörender Unrichtigkeiten.

Seite	Zeile		anstatt	setze man:
29	7	von unten	$s = p v$	$s = \frac{p}{v}$
48	16	" "	$p = \frac{1}{4} c \frac{r^3 \pi}{}$	$p = \frac{1}{4} c \frac{r^3 \pi}{1}$
65	13	" oben	$t \sqrt{\frac{s 2}{g}}$	$t \sqrt{\frac{2 s}{g}}$
256	8	" "	$\frac{V + V_1}{V} = \frac{b_1}{b - b_1}$	$\frac{V + V_1}{V} = \frac{b}{b - b_1}$
"	22	" "	$\frac{V - v + V_2}{V - v} = \frac{B_1}{B - B_1}$	$\frac{V - v + V_2}{V - v} = \frac{B}{B - B_1}$

515 fehlen in der Figur 454 folgende punktirte Verbindungslinien: In der Station Wien I fehlt die Linie von q nach S, und in der Station Prag II fehlen die Linien von p nach D, von q nach S, von o nach a und von B nach b.

Druck von J. P. Sollinger's Witwe.